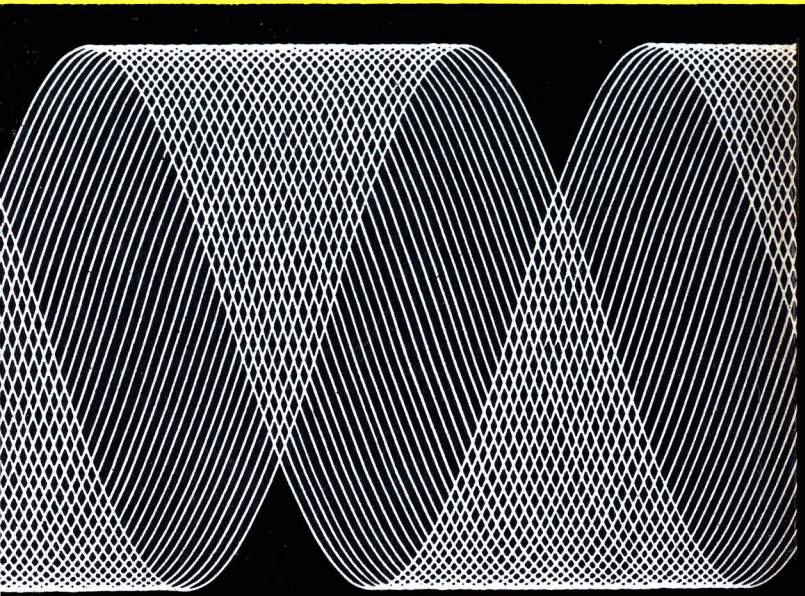
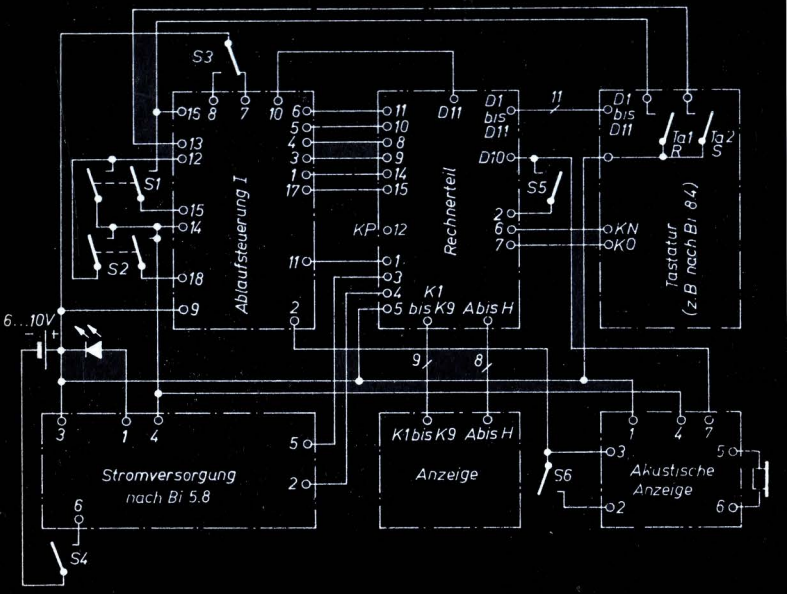
amateurreihe

electronica

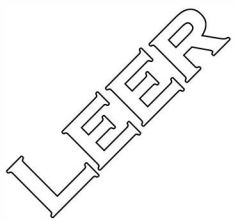




K. Schlenzig
K.-H. Bläsing

179

Schaltbeispiele mit dem Rechnerschaltkreis U 820 D/U 821 D



SCAN BY BLACKBURNER 2012

electronica · Band 179

KLAUS SCHLENZIG
KARL-HEINZ BLÄSING

Schaltbeispiele mit dem Rechnerschaltkreis U 820 D/U 821 D

MILITÄRVERLAG
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN
REPUBLIK

1. Auflage, 1980, 1.—20. Tausend
© Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) - Berlin, 1980
Cheflektorat Militärliteratur
Lizenz-Nr. 5 · LSV: 3539
Lektor: Rainer Erlekampf
Zeichnungen: Manfred Schulz
Typografie: Helmut Herrmann · Hersteller: Michael Haase
Vorauskorrektor: Eva Plake · Korrektor: Gertraut Purfürst
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme, Potsdam
Bestellnummer: 746 199 8
DDR 1,90 M

Inhalt

1.	**Vorwort**	5
2.	**Der Rechnerschaltkreis** *U 820 D/U 821 D*	7
3.	**Anzeigen für Rechnerschaltkreise („Displays“)**	15
4.	**Tasteneingabe**	20
5.	**Stromversorgung**	24
5.1.	Batteriespeisung	25
5.2.	Speisung aus Netzteil	27
5.3.	Transverter für $-U_{GG}$	28
5.4.	Transverter für gleichzeitige Speisung von Rechner und Anzeige	30
6.	**Stromversorgung und Takterzeugung für einen kompletten Taschenrechner**	34
7.	**Kompletter 4-Spezies-Taschenrechner der *minirex*-Klasse**	36
7.1.	Konzeption	36
7.2.	Rechnerbaustein	37
7.3.	Tastatur	42
7.4.	Gehäuse, Gesamtgestaltung	44
7.5.	Funktionstests und Umgang mit dem Rechner	48
7.6.	Übergang auf *VQD 30*	49
7.7.	Anzeige durch *VQB 71* und *VQB 73*	50
8.	**Elektronische und elektromechanische Eingaben; Probleme der *U 820 D*-Organisation**	52
8.1.	Elektronische Eingaben	52
8.2.	Elektromechanische Eingaben	57
8.3.	Eingabebedingungen	58

9. Einfache Ablaufsteuerungen 62
9.1. Ablaufsteuerungen für Ereigniszähler 62
9.2. Rechnersynchrone Ablaufsteuerungen 66

10. Taktgeber für Ablaufsteuerungen 70
10.1. Sekunden-Taktgeber für geringe Genauigkeitsansprüche 70
10.2. 0,2-s-Generator 71
10.3. Ableiten des 0,2-s-Takts aus der Netzfrequenz 71
10.4. *LC*-Oszillator für frequenzstarre Kopplung von Rechner- und Steuertakt 74
10.5. Quarzgeneratoren 75

11. *U 820 D* als Ereigniszähler 77
11.1. Ereigniszähler vorwärts; Rundenzähler 77
11.2. Ereigniszähler rückwärts 77

12. Periodische Zähler mit dem *U 820 D*/*U 821 D* 80
12.1. Rückwärtszähler als einfacher Wecker — Auswertung des Nulldurchgangs 80
12.2. Stoppuhr mit 0,1-s-Schritten 84
12.3. Prinziplösung einer Uhr für Stunden und Minuten 90

13. Digitalthermometer 94
13.1. Digitaler Spannungsmesser 94
13.2. Temperatur-Spannungsumsetzung 97
13.3. Digitalthermometer mit Transistorfühler 98

14. Literatur 105

1. Vorwort

Die rasche Entwicklung der Halbleitertechnik in den letzten Jahren hat zu einer Fülle neuer Bauelemente auf der einen und damit zu einer überraschenden Vielfalt von Einsatzmöglichkeiten auf der anderen Seite geführt. Dabei fallen die Anwendungen am stärksten ins Auge, die vor dem Erreichen einer bestimmten Entwicklungsstufe gar nicht oder mit für den Amateur nur äußerst hohem Aufwand realisierbar gewesen wären. Das trifft voll auf die Möglichkeiten zu, die LSI-Schaltkreise der Rechentechnik heute bieten. (LSI, *large scale integration*, derzeit höchste Stufe der Schaltkreistechnik mit mehreren tausend Funktionseinheiten je Chip.) Die ersten 4-Spezies-Rechnerschaltkreise aus dem ehemaligen Kombinat *Funkwerk* Erfurt erreichten den Amateur erst wenige Monate vor Manuskripterarbeitung. Vordergründig bot sich zunächst der Nachbau eines Rechners (*minirex* bzw. *Konkret*) an, zumal auch die übrigen Bauelemente (vor allem LED-Anzeigen) gerade erhältlich waren. Eine solche Arbeit wird mehr oder weniger auch am Beginn der Beschäftigung mit diesen Schaltkreisen stehen, wenn auch mehr als Ausgangspunkt für u. U. ganz andere Ziele, die zu erreichen ein solcher Rechnerschaltkreis gestattet, mehr noch: er fordert direkt dazu heraus. Unterstützt wurde das durch ein 1978 verfügbares Angebot eines verbilligten Basteltyps des *U 820 D* und später (Anfang 1979) durch ebenso preisgünstige Anfalltypen des *U 821 D*. Auf diese Weise entstanden die in dieser Broschüre vorgestellten Anwendungsbeispiele. Man findet im folgenden zwar einiges an (notwendigen) Informationen zum Rechnerschaltkreis selbst, doch ist das nur als Teil der für seine erfolgreiche Anwendung nötigen Basis zu verstehen. Das ist keine Broschüre über Taschenrechner, gesehen vom Spezialisten dieser Branche. Der Rechnerschaltkreis wird vielmehr als gegebenes komplexes Bauelement mit seinen in- und outputs, seinen außen erkennbaren Reaktionen auf von außen gegebene Befehle betrachtet, gesehen mit den Augen des Anwenders. Dabei ist vordergründig die Kenntnis seiner Möglichkeiten ebenso wie die seiner Grenzen wichtiger als die der internen Organisation und von Einzelheiten der Funktion. Das läßt sich mit der Betrachtung

einer Schaltung etwa mit Transistoren oder mit Operationsverstärkern vergleichen, bei der die Vorgänge an den pn-Übergängen nur in ihrer Wirkung interessieren, weniger aber von ihren physikalischen Zusammenhängen her. Die innere Struktur, den Verarbeitungsablauf und ein über den Rahmen dieser Broschüre weit hinausgehendes Anwendungsbeispiel zusammen mit einem Mikroprozessor beschreibt z. B. [1].

Allein aus diesem Hinweis läßt sich erkennen, daß die vorliegende Broschüre von der heute gegebenen Vielfalt der Möglichkeiten hochintegrierter Schaltkreise nur ein kleines Gebiet behandeln kann mit den Mitteln, die bei ihrer Entstehung dem Amateur zugänglich werden. Wir hoffen dennoch, dem Leser einige Anregungen für den Umgang mit solchen LSI-Schaltkreisen vermitteln zu können, auch als Basis für weitergehende Arbeiten.

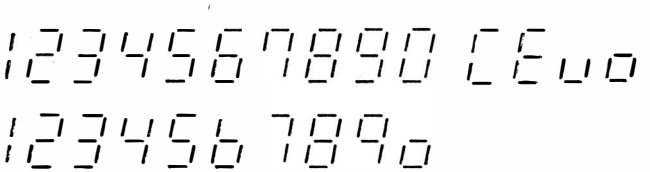
Berlin, im Dezember 1978 *Die Autoren*

Hinweis!

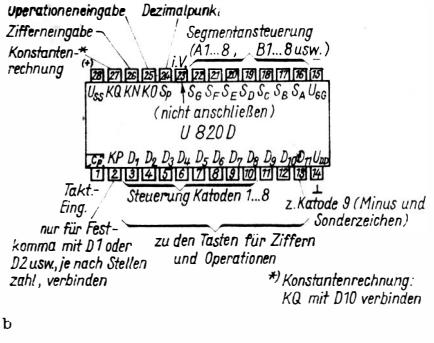
Kurzfristig entstand nach Manuskriptabschluß zum inzwischen in größeren Stückzahlen verfügbaren *U 821 D* eine ätzfeste „typofix-electronic-spezial"-Folie für einen kompletten, zur Stoppuhr erweiterbaren Rechner. Die Folie erscheint etwa März 1980; Beschreibung und Bestückungsplan findet man voraussichtlich in H. 3/80 der Zeitschrift „FUNKAMATEUR".

2. Der Rechnerschaltkreis *U 820 D/U 821 D*

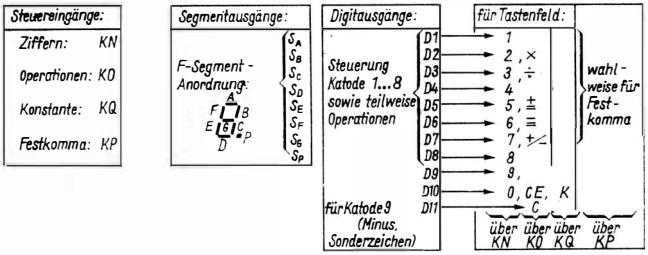
Die Halbleiterindustrie der DDR bietet gegenwärtig noch den 4-Spezies-Rechnerschaltkreis *U 821 D* an. Er wurde in Rechnern der *Konkret*-Reihe eingesetzt (*Konkret 100, Konkret 200*) bzw. in neueren „mr"-Typen. Der *U 821 D* löste den *U 820 D* ab. Diesem gegenüber konnte als hauptsächlicher Unterschied im Zusammenhang mit einer *VQD 30*-Anzeigeeinheit auf die Segmenttreiber für die Anzeige verzichtet werden. In Verbindung mit dieser ebenfalls neuentwickelten Anzeigeeinheit *VQD 30* benötigt er nur noch den 6fach-Digittreiber *D 492 D*, während der *U 820 D* außerdem den 4fach-Segmenttreiber *D 491 D* erforderte. Der *U 820*-Basteltyp wurde jedoch versuchsweise ohne Ausfälle ebenfalls über Begrenzungswiderstände direkt an die Segmente der *VQD 30* angeschlossen, die ohnehin mit weniger Strom auskommt. Man kann also folgern, daß der *U 821 D* in Verbindung mit der (nicht mehr produzierten) *VQC 32* ebenfalls wieder Seg-



a



b



c

Bild 2.1 a — Ziffern- und Zeichendarstellung bei *U 820 D* und bei *U 821 D*: Ziffern 1 bis 9 und 0, Eingabeüberlauf positiv und negativ sowie Überschreiten des Rechenbereichs (positiv und negativ), b — Anschlußbelegung für *U 820 D*/*U 821 D*, c — Anschlußzuordnung

Tabelle 2.1 Wichtigste Daten des *U 820 D* (Markentyp)

		Betriebswerte min.	typ.	max.	Grenzwerte	Einheit
Gatestrom	I_{GG}	—	9	15		mA
Substratstrom	I_{SS}	—	25	35		mA
Verlustleistung bei 7,2 V	P_v	—	250	400	500	mW
Ausgangsspannung ($S_{A...P}$, D1 ... D11) bei 1 mA	$U_{SS} - U_a$	—	0,5	—		V
Drainspannung	U_{DD}	0	0	0	— 20 bis + 0,3	V
Substratspannung	U_{SS}	6,6	7,2	8,1	(Bezugswert für U_{DD} und U_{GG})	V
Gatespannung	U_{GG}	— 6,6	— 7,2	— 8,1	— 20 bis + 0,3	V
Dateneingangsspannung					— 20 bis + 0,3	V
Taktspannung	U_{cpH}	(U_{SS} — 1) — U_{SS}				
	U_{cpL}	U_{GG} — (U_{GG} + 1)			— 20 bis + 0,3	V

Tabelle 2.2 Daten des *U 821 D* (Markentyp); Stand: November 1978

Tabelle 2.2a Kennwerte für typische Betriebsbedingungen und 25 °C Umgebungstemperatur

Kennwert	Symbol	Kleinstwert	Größtwert	Einheit
Gatestrom	I_{GG}	—	9	mA
Substratstrom	I_{SS}	—	20	mA
Ausgangsstrom der Segmenttreiber	I_{onS}	—	5[1]) 7[2])	mA
Daten-Eingangskapazität	C_I	—	20	pF
Takt-Eingangskapazität	C_T	—	20	pF
Takt-Shunt-Widerstand	R_T	100	—	kΩ

Tabelle 2.2b Betriebsbedingungen

Kennwert	Symbol	Wert min.	typ.	max.	Einheit
Drainspeisespannung	U_{DD}	0	0	0	V
Substratspeisespannung	U_{SS}	6,6	7,2	8,1	V
Gatespeisespannung	$-U_{GG}$	6,6	7,2	8,1	V
„H" Taktspannung	U_{TH}	$U_{SS} - 1$	—	U_{SS}	V
„L" Taktspannung	U_{TL}	$U_{GG} - 1$[3])	—	$U_{GG} + 1$	

[1]) Bei 0 °C $\leq \vartheta_a \leq$ 70 °C
[2]) Bei 0 °C $\leq \vartheta_a \leq$ 45 °C
[3]) Taktspannung U_{TL} darf Größtwert für U_{GG} nicht überschreiten

Tabelle 2.2c Grenzwerte, Spannungen bezogen auf U_{SS} (Substratspannung)

Kennwert	Symbol	Kleinstwert	Größtwert	Einheit
Drainspannung	U_{DD}	— 20	0,3	V
Gatespannung	U_{GG}	— 20	0,3	V
Takteingangsspannung	U_{IT}	— 20	0,3	V
Dateneingangsspannung	U_{ID}	— 20	0,3	V
Strom der Digittreiber	I_{ouD}	—	1,4	mA
Umgebungstemperatur	ϑ_a	0	70	°C
Lagertemperatur	ϑ_s	— 40	100	°C
Verlustleistung	P_{tot}	—	400	mW

menttreiber brauchen würde, wenn man diese Anzeige voll ausfahren möchte.
Der tatsächliche (durch die Begrenzungswiderstände festgelegte) Strom ist also letztlich für beide Typen das Kriterium für die Frage: Segmenttreiber ja oder nein?
Ein weiteres, optisch erkennbares Unterscheidungsmerkmal zwischen *U 820 D* und *U 821 D* ist die unterschiedliche Zifferndarstellung (Bild 2.1a). Während beim *U 820 D* die Wiedergabe der 7 als etwas nachteilig empfunden wird, muß man sich beim *U 821 D* an die Darstellung der Null durch die Segmente c, d, e und g erst gewöhnen, da dieses Zeichen dadurch kleiner als die anderen ist.
Aus Tabelle 2.1 und Tabelle 2.2 gehen die (inzwischen noch korrigierten) Katalogdaten der beiden Schaltkreistypen hervor. Ihr Kennblatt umfaßt folgende Angaben:
4 Rechenarten (Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division); Konstanten- oder Kettenoperation; Gleitkomma oder Festkomma; 8stellige Ziffernanzeige; automatische Auf- und Abrundung der Ergebnisse; automatisches Löschen der Speicher beim Einschalten des Geräts; automatische Dunkeltastung der nicht benutzten Anzeigeelemente; Anzeige von Negativergebnissen, Eingabe- und Ergebnisüberfüllung; Vorzeichenwechsel.
Die Versuchsschaltungen zur vorliegenden Broschüre wurden aus der Beschaffungssituation heraus überwiegend mit dem *U 820 D* aufgebaut, entsprechend sind darum auch bestimmte Schaltungseinzelheiten zu verstehen. Bild 2.1b zeigt die für beide Typen gültige Anschlußbelegung.
Die Schaltkreisanschlüsse teilen sich in Versorgungseingänge (Takt cp, positive Spannung U_{SS}, auf Masse liegende Spannung U_{DD} – die damit Bezugspotential für die beschriebenen Einsatzfälle ist –, negative Spannung U_{GG}), Steuereingänge für Eingaben (KN für Ziffern, KO für Operationen, KP für Festkomma – bei Bedarf –, KQ für Konstantenrechnung) und Digitausgänge zum Ansteuern der Katoden der Anzeige im Multiplexbetrieb, also zeitlich hintereinander. Diese Ausgänge aktivieren außerdem über das Tastenfeld die Eingabe-Eingänge, ebenfalls zeitlich hintereinander. Schließlich sind noch die Segmentausgänge S_A bis S_G sowie Sp (Dezimalpunkt) für die Anzeige zu nennen. In der Anzeige sind alle gleichnamigen Segmente parallelgeschaltet (A1 bis A9, B1 bis B9 usw.). Eine *VQC 32* beinhaltet das jeweils intern

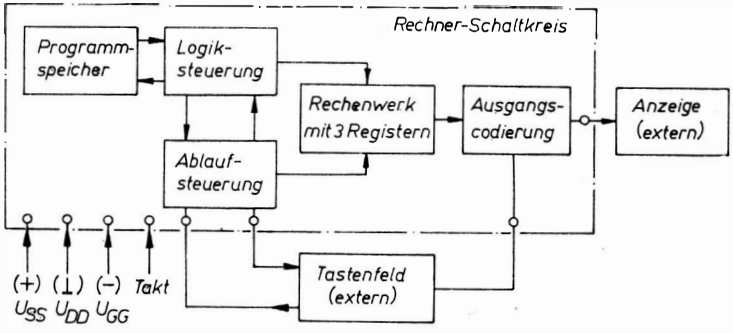


Bild 2.3 Stark vereinfachter Übersichtsschaltplan des Rechnerschaltkreises (umfassende Information siehe „radio-fernschen-elektronik" H. 5/78)

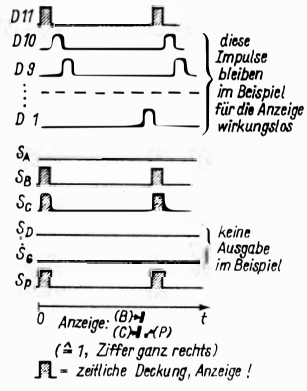


Bild 2.2 Digit- und Segmentimpulse steuern zeitmultiplex die Ziffern der Anzeigeeinheit an (vereinfachtes Beispiel: Katode 1 wird genau zu den Zeitpunkten aktiviert, an denen ihre Segmente B und C angesteuert werden. Dem trägen Auge erscheint das als Dauranzeige einer 1)

bereits für 3 Stellen; die *VQD 30* hat eine Gesamtverdrahtung für alle 9 Stellen. Die Segmentinformationen für die jeweilige Stelle werden parallel ausgegeben, so daß bei „Abfrage" der jeweiligen Katode durch den gerade aktivierten Digitausgang alle laut Ansteuerung in Frage kommenden Segmente dieser Stelle leuchten. Das Auge integriert diese gepulste Lichteinwirkung trotz des großen Tastverhältnisses. Die Multiplexfrequenz liegt im Tonfrequenzbereich. Das eröffnet übrigens einige Möglichkeiten für sekundäre Anwendungen, z. B. Ausnutzung als Alarmton (siehe Abschnitt 12.). Bild 2.2 zeigt das Zusammenwirken von Digit- und Segmentimpulsen an einem Beispiel. Die Ausgangsimpulse sind bei der genannten Spannungszuordnung gegen Masse positiv. Der Schaltkreis hat Ausgänge mit offenem Drain. Daher können in (seltenen) Grenzfällen, u. a. bei höherer Temperatur, Fehlströme fließen, die zu störendem Glimmen in der Anzeige führen. In diesen Fällen sind Ableitwiderstände nach Masse im Kiloohmbereich zu empfehlen. Alle Abläufe im Rechnerschaltkreis, für den Bild 2.3 einen Übersichtsschaltplan zeigt, werden aus einem Takt abgeleitet, der dem Anschluß cp zugeführt wird. Für diesen Takt gelten Bild 2.4 und Tabelle 2.3. Der Hersteller nennt darin für den *U 821 D* die folgende Beziehung für die Mindest-Kontaktschließzeiten der Eingaben: $t_{min} = 4720 \cdot t_1\ \mu s$. Laut Tabelle 2.3 liegt t1 für den *U 821 D* zwischen 3,7 und 10 μs; im allgemeinen arbeitet man mit einer Taktfrequenz von 200 bis 250 kHz. Das bedeutet eine Eingabe-Mindestzeit von etwa 25 ms.
Die angegebene Mindest-Taktfrequenz von 100 kHz konnte, wie Versuche zeigten, erheblich unterschritten werden. Das kann für bestimmte Lösungen Vorteile bringen. Man muß aber an die Auswirkung auf die nötige Rechen- und Eingabezeit denken. Da

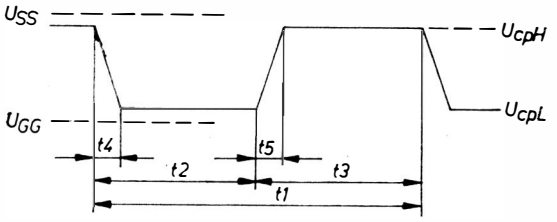


Bild 2.4 Taktbedingungen (vergleiche Tabelle 2.3)

Tabelle 2.3 Taktbedingungen; a — *U 820 D*, b — *U 821 D*

Kennwert	Symbol	Wert min.	typ.	max.	Einheit
Periodendauer	t_1	3	4	5	µs
Halbperiodendauer	t_2, t_3	1,5	2	2,5	µs
Anstiegs- und Abfallzeit	t_4, t_5	0	0,1	0,2	µs
Tastendruckzeit		25			ms

Kennwert	Symbol	Wert min.	typ.	max.	Einheit
Periodendauer	t_1	3,7	4	10	µs
Halbperiodendauer	t_2, t_3	1,85	2	7,5	µs
Anstiegs-, Abfallzeit	t_4, t_5	0	—	1	µs
Kontaktschließzeit für Eingaben	t_{min}	$4720 \cdot t_1$	—	—	—

beide starr mit cp verknüpft sind, wachsen sie im gleichen Maße, wie die Taktfrequenz verringert, ihre Periodendauer also erhöht wird. Für automatische Steuerungsaufgaben, bei denen die Taste durch ein elektronisches Äquivalent ersetzt wird, stellt die Mindestbetätigungszeit eine nicht zu unterschätzende Zeitbarriere dar, so daß z. B. aus der Literatur bekannte Anwendungen bestimmter Taschenrechnertypen als Stoppuhr u. ä. bis zu 1/100-s-Schritten nicht einfach für den *U 820 D* übernommen werden können!

Kürzeste Eingabezeiten sind daher erreichbar, wenn man bei solchen automatischen Eingaben Takt und Ablaufsteuerung zeitstarr verknüpft. Das bedingt für zeitgenaue Abläufe, z. B. bei Stoppuhrbetrieb, eine bestimmte, konstante Taktfrequenz. Später wird gezeigt, daß mit ihr als Zeitbasis eine Auflösung von 0,1 s erreichbar ist.

Die Organisation des *U 820 D* verlangt übrigens außerdem für jede Eingabe 2 Schritte, wenn z. B. gezählt werden soll. Im ersten Schritt wird die gewünschte Zahl eingegeben (z. B. eine 1). Sie befindet sich damit im Anzeigeregister und erscheint in der Anzeige (dem „Display"). Erst durch Betätigen der Taste „+" (oder, wenn subtrahiert werden soll, der Taste „—") wird sie in das Rechenregister übernommen. Diesen Vorgang quittiert der

Rechner mit einem kurzen Aufleuchten aller Segmente. Nun kann z. B. mit der Taste CE („Löschen Eingabe") die Anzeige gelöscht werden. Im Anzeigefeld bleibt dann nur die rechtsstehende erste Null mit rechts davon angeordnetem Dezimalpunkt. Der gespeicherte Wert kann aber jederzeit, z. B. durch erneutes Betätigen der Ergebnistaste, wieder ins Anzeigefeld geholt und dort gelöscht werden, ohne daß er intern verlorengeht. Diese Betriebsart kann für das längere Speichern mehrstelliger Werte sinnvoll sein, wenn der Rechner im Batteriebetrieb arbeitet. Dann wird nur der vom Schaltkreis und von der rechts stehenden Null benötigte Strom aufgenommen. Die Einsparung beträgt etwa 40 bis 50 mA gegenüber „vollem" Anzeigefeld, wenn noch *VQC 32* benutzt werden. Erst mit der Taste C (Gesamtlöschung) wird auch das Arbeitsregister geleert. Das wiederum ist u. a. von Bedeutung, wenn der Rechner mit einer Ablaufsteuerung zusammenarbeiten soll, für die man zunächst einen Anfangswert von Hand eintasten kann, z. B. bei einem Rückwärtszähler. Ein noch im Arbeitsregister stehender Wert — womöglich noch mit negativem Vorzeichen! — löst dann bereits beim ersten Schritt der Ablaufsteuerung ein unsinniges Ergebnis aus (Anzeige des Endwerts bei Auswertung des Minuszeichens). Daher ist vor jeder neuen Rechnung die Eingabetaste für C zu betätigen, wenn nicht durch Abschalten gelöscht worden war. Es empfiehlt sich jedoch auch nach dem Einschalten, stets zunächst die C-Taste zu drücken.

Betrachtet man die Angaben zum *U 820 D*/*U 821 D* im Zusammenhang, so ergibt sich ein interessanter Vergleich. Bezogen auf die bei Manuskripterarbeitung gültigen Preise waren *U 820 D* und eine Kombination von *D 192 C* und *D 147 C* in etwa preisgleich. (Nach einer weiteren Preissenkung kostet der nun allein erhältliche *U 821 D* nur noch etwa 21 M!) Während der *U 820 D* eine 8stellige Zifferninformation verarbeiten, ausgeben (und speichern!) kann, stellt die TTL-Kombination lediglich eine Zähldekade mit 7-Segment-Ausgabe für eine einzige Ziffer dar. Sie zu speichern verlangt zusätzlich einen *D 195 C*. Benötigt die TTL-Zähldekade aber bereits ohne Speicher etwa 150 mA bei 5 V (und mit Speicher mehr als 220 mA!), so kommt der gesamte Rechnerschaltkreis einschließlich Anzeige etwa mit der Hälfte davon aus. Schon dieser Vergleich reizt also zu Überlegungen für den weitergehenden Einsatz, wobei nie die vor allem durch die Zeitbedingungen gegebenen Grenzen vergessen werden dürfen.

3. Anzeigen für Rechnerschaltkreise („Displays")

Von den gegenwärtig mindestens 4 großtechnisch genutzten Möglichkeiten, Ziffern elektronisch darzustellen (Gasentladung, Fluoreszenz, Flüssigkristall und LED), kommt für den Amateur z. Z. aus Beschaffungs- bzw. Aufwandgründen nur die LED-Anzeige in Frage. Die Ausgabebedingungen des *U 820 D*/*U 821 D* erfordern 7-Segment-Anzeigen mit gemeinsamer Katode und erlauben auf Grund des Multiplexbetriebs Parallelschaltung aller

Tabelle 3.1 Kennwerte der *VQB 37*

Kenngrößen bei $\vartheta_a = 25$ °C	Symbol	min.	typ.	max.	Einheit
Lichtstärke[1])/Segment bzw. Dezimalpunkt bei $I_{FRM} = 7$ mA	I_V	13	18	—	µcd
Durchlaßspannung[1])/Segment bzw. Dezimalpunkt bei $I_{FRM} = 7$ mA	U_F	—	1,7	1,9	V
Sperrgleichstrom/Segment bzw. Dezimalpunkt bei $U_R = 3$ V	I_R	—	—	100	µA
Reduktionskoeffizient der Durchlaßgleichspannung im Temperaturbereich — 25 ... 70 °C	$-TK_{UF}$	—	—	1,85	mV/K
Grenzkennwerte					
Spitzendurchlaßstrom period.[1])[2])[3]) Segment bzw. Dezimalpunkt	I_{FRM}	—		50	mA
Durchlaßgleichstrom/Segment[3]) bzw. Dezimalpunkt	I_F	—		5	mA
Sperrgleichspannung/Segment bzw. Dezimalpunkt bei $\vartheta_a = -25 \ldots 70$ °C	U_R	—		3	V
Gesamtverlustleistung je Ziffer einschließlich Dezimalpunkt	P_{tot}	—		80	mW
Betriebstemperaturbereich	ϑ_a	— 25		70	°C

[1]) $t_p = 50$ µs, $v_T = 1 : 14$
[2]) Wobei der mittlere Durchlaßgleichstrom nicht überschritten werden darf
[3]) bis max. 25 °C

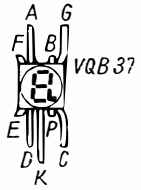


Bild 3.1
Einfach-LED-Anzeige *VQB 37* mit gemeinsamer Katode — die derzeit flexibelste Anzeige für Rechnerschaltkreise (von 1- bis n-stellig aufreihbar), vergleiche Tabelle 3.1

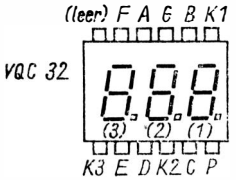


Bild 3.2
3fach-Multiplexanzeige *VQC 32* mit gemeinsamer Katode — nicht mehr im Angebot, wurde u. a. als Bastelbauelement gehandelt (vergleiche Tabelle 3.2)

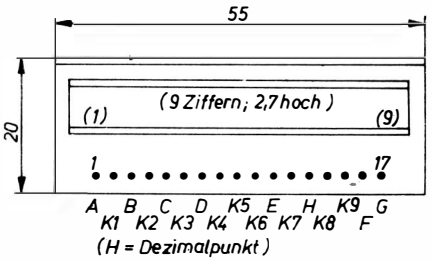


Bild 3.3 Rechner-Spezialanzeige *VQD 30* (vergleiche Tabelle 3.3)

gleichnamigen Segmente. Damit bieten sich aus dem derzeitigen Bastelsortiment die *VQB 37* (Bild 3.1b und Tabelle 3.1) als aufreihbare Einzelanzeige mit Linsenaufsatz und die *VQC 32* (Bild 3.2 und Tabelle 3.2) als 3fach-Anzeige mit bereits intern verbundenen Segmenten gleicher Lage an. Die *VQC 32* hat den Vorteil eines großen Ablesewinkels, da sie keinen Lupenaufsatz hat, wird jedoch leider (offenbar aus Kosten- und Strombedarfsgründen) nicht mehr produziert. Mancher Amateur wird auch schon mit der *VQD 30* arbeiten können (Bild 3.3, Tabelle 3.3),

Tabelle 3.2 Kennwerte der *VQC 32* (nicht mehr in Produktion)

Kennwerte der VQC 32 bei $\vartheta_a = 25$ °C	Symbol			Einheit
Lichtstärke/Segment[1]) bei $I_F = 10$ mA	I_L	typisch	19	µcd
		minimal	10	µcd
Lichtstärke/Dezimalpunkt bei $I_F = 10$ mA	I_L	typisch	30	µcd
		minimal	16	µcd
Durchlaßgleichspannung/Segment bei $I_F = 10$ mA	U_F	typisch	1,8	V
		maximal	2,0	
Durchlaßgleichspannung/DP	U_F	typisch	1,8	V
		maximal	2,0	
Temperaturkoeffizient der Gesamtverlustleistung, linear ab 25 °C	TK_{Ptot}	maximal	— 2,9	mW/K
Temperaturkoeffizient der Durchlaßgleichspannung ab 25 °C	TK_{UF}	maximal	— 1,6	mV/K
Temperaturkoeffizient der Lichtstärke	TK_{IL}	maximal	— 0,8	%/K
Grenzwerte bei $\vartheta_a = 25$ °C				
Durchlaßgleichstrom/Segment bzw. Dezimalpunkt	I_F	maximal	15	mA
Durchlaßimpulsspitzenstrom/Segment bzw. Dezimalpunkt	$\widehat{I}_F$	maximal	100[2])	mA
Sperrgleichspannung im Betriebstemperaturbereich	U_R	maximal	4	V
Gesamtverlustleistung	P_{tot}	maximal	220	mW
Umgebungstemperatur bei elektrischer Belastung	ϑ_a		— 25 ... 70	°C
für kurzzeitige Lagerung	ϑ_a		— 40 ... 85	°C

[1]) Lichtstärkemessung senkrecht zur Lichtaustrittsfläche

[2]) Wobei der äquivalente Durchlaßgleichstrom nicht überschritten werden darf

die alle 8 Ziffern und das Vorzeichen bereits auf einer gemeinsamen Platte trägt.

Die in den Tabellen genannten Höchststromwerte können vielfach erheblich unterschritten werden, wenn man konstruktiv

Tabelle 3.3 Kennwerte der *VQD 30*

Kenngrößen bei $\vartheta_a = 25$ °C	Symbol	min.	typ.	max.	Einheit
Lichtstärke[1])/Segment bzw. Dezimalpunkt bei $I_{FRM} = 7$ mA	I_v	13	—	—	µcd
Durchlaßspannung[1])/ Segment bzw. Dezimalpunkt bei $I_{FRM} = 7$ mA	U_F	—	—	1,9	V
Sperrgleichstrom/ Segment bzw. Dezimalpunkt bei $U_R = 3$ V	I_R	—	—	100	µA
Grenzkennwerte					
Durchlaßgleichstrom/ Segment bzw. Dezimalpunkt[2])	I_F	—		5	mA
Spitzendurchlaßstrom,[1])[2]) period. Segment bzw. Dezimalpunkt	I_{FRM}	—		30	mA
Sperrgleichspannung/ Segment[3]) bzw. Dezimalpunkt	U_R	—		3	V
Gesamtverlustleistung/je Anzeige, Segment u. Dezimalpunkt einer Ziffer	P_{tot}	—		80	mW
Reduktionskoeffizient der Durchlaßgleichspannung/ Segment[3]) bzw. Dezimalpunkt	$-TK_{UF}$	—		1,8 ± 0,1	mV/K
Reduktionskoeffizient des Durchlaßgleichstroms/ Segment[4]) bzw. Dezimalpunkt	$-TK_{IF}$	—		0,05	mA/K
Temperaturkoeffizient der Lichtstärke/Segment[4]) bzw. Dezimalpunkt	$-TK_{Iv}$	—		1,0	%/K
Betriebstemperaturbereich	ϑ_a	— 10		50	°C

[1]) $t_p = 50$ µs, $v_T = 1 : 14$
[2]) bis max. 25 °C
[3]) zwischen — 10 °C und + 50 °C
[4]) zwischen 25 °C und 50 °C

dafür sorgt, daß die Anzeigen vor Fremdlicht geschützt werden. Das macht sich in der Strombilanz vor allem bei Batteriebetrieb vorteilhaft bemerkbar und erhöht die Lebensdauer der Anzeige. Für einige der im folgenden beschriebenen Anwendungen, wo die Ziffernausgabe nur eine Eingabe-Kontrollfunktion hat, empfiehlt sich ein Display-Schalter.

4. Tasteneingabe

Die Arbeit mit dem Rechnerschaltkreis ist ein Dialog, bei dem der Mensch über Kontakte Befehle in den Rechner eingibt, die dieser durch seine Anzeige quittiert bzw. deren Ausführung er auf ihr meldet. Abgesehen von den in Abschnitt 8. behandelten elektromechanischen und elektronischen Eingaben, praktisch dem Gebiet der teilweise oder ganz ohne Einwirkung des Menschen zwischen Rechner und Peripherie ablaufenden Prozesse, ist eine Eingabe auch über fingerbetätigte einfache Arbeitskontakte, Taster, möglich. Auf Grund der Trägheit des Rechnerschaltkreises und der zulässigen hohen Restwiderstände müssen diese Kontakte keine Präzisionserzeugnisse sein. Hier zeigt sich ein Vorteil der begrenzten Verarbeitungsgeschwindigkeit. Die erforderliche Kontaktschließzeit bietet einen gewissen Schutz gegen Kontaktprellen. Dennoch liegt irgendwo auch eine Grenze für die Güte dieser Kontakte. Etwas Sorgfalt beim Selbstbau, Abdecken gegen Verschmutzung und gelegentliches Säubern sind also durchaus am Platze. Im übrigen bedenke man: Je höher die Taktfrequenz, um so kleiner die Eingabezeit (also auch die „Prellschutzzeit"), Bereich 15 bis 51 ms, je nach Frequenz (333 bis 100 kHz).

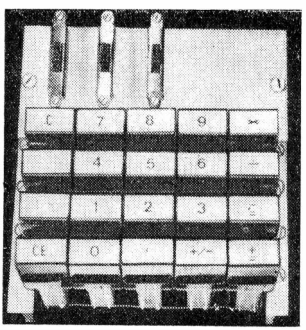


Bild 4.1 Labortastatur mit Miniatur-Schiebetastenschaltern und Raum für bis zu 5 *Simeta*-Schiebeschaltern

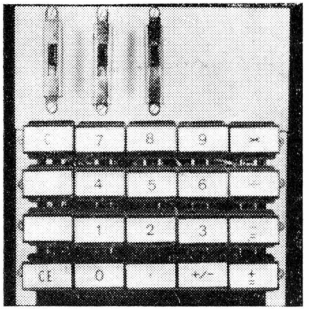


Bild 4.2 Tastatur, in Arbeitsrichtung geschen. Die Verriegelungen der ursprünglich abhängig rastenden 5-Tasten-Streifen wurden gelöst, so daß sich unabhängig voneinander wirkende, nichtrastende Kontakte ergaben.

Je nach Aufgabe, Platzangebot und Kostenvorgaben kann man Eigenbauten, Mikrotaster oder kleine nichtrastende Drucktasten einsetzen. Auf Grund ihrer hohen Perfektion und der für sie erhältlichen Knöpfe in unterschiedlicher Gestalt und Farbe ist eine „Labortastatur" am besten mit kurzen nichtrastenden Miniaturschiebetasten zu realisieren. Die kürzeste Ausführung verfügt noch immer über 2 Umschalter, so daß eine willkommene, weil die Zuverlässigkeit erhöhende Redundanz durch Parallelschaltung möglich wird. Eine solche „Labortastatur", die für umfangreichere Experimente (z. B. die Entwicklung der Stoppuhr) zum Einsatz kam, zeigen Bild 4.1 bis Bild 4.4. Die Verdrahtung der Tasten

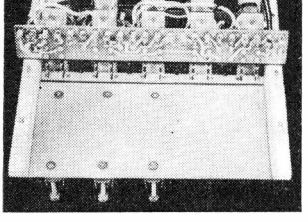


Bild 4.3 Tastatur-Ansicht von unten

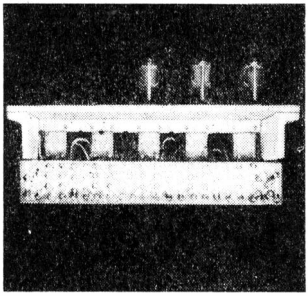


Bild 4.4 Die Anschlußleiterplatte der Labor-Tastatur verknüpft gleichzeitig die oberste Tastenreihe mit den Anschlüssen

ergibt sich aus den Herstellervorschriften zum Schaltkreis (Bild 4.5). Aus dem ursprünglich abhängig rastenden 5-Tasten-Schalter wurden die Rastungen entfernt. Dadurch entstand die übliche Eingabeart (nichtrastend, federnd). Die Tastenfelder sind mit „typofix"-Buchstaben und -Zeichen auf Zeichenkarton gekennzeichnet. Die beschrifteten Blättchen wurden auf die Tasten geklebt und erhielten einen farblosen Lacküberzug. 2 der Tasten stellen Reserve-Eingabemöglichkeiten dar. Träger der Tastatur und der Wahlschalter für verschiedene Festfunktionen (z. B. für Stoppuhrbetrieb, Konstantenrechnung, Festkomma) ist eine 120 mm × 120 mm große, entsprechend ausgesägte Plastwandfliese. Seitliche Versteifungen aus dem gleichen Material (vor allem in Bild 4.3 und Bild 4.4 erkennbar) sichern die nötige Stabilität.

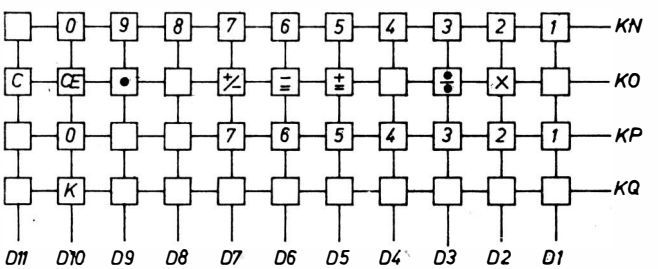


Bild 4.5 Eingabematrix für *U 820 D*/*U 821 D*; jeder belegte Kreuzungspunkt entspricht einem Schaltkontakt

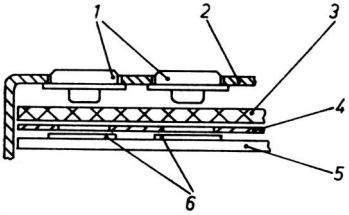


Bild 4.6
Leitgummi als Tastaturmaterial; 1: Tasten, 2: Gehäuse, 3: Leitgummi (mit „KX" verbunden), 4: durchbrochene Isolierfolie, 5: Leiterplatte, 6: Kontaktflächen (D-Eingänge)

Der Tasteneinsatz läßt sich in einem Rahmen aus etwa 4 mm dickem Hartpapier unterbringen, der die übrigen, für den jeweiligen Einsatzzweck benötigten Baugruppen aufnimmt. Steckverbinder erleichtern den Wechsel. Diese Bauart wird gegenwärtig z. B. auch bei Lernsystemen mit Mikroprozessoren gern angewendet.

Mechanische Tasten müssen jedoch nicht in den üblichen Kontakten von Metall zu Metall enden, wie vor allem viele Taschenrechnermodelle selbst zeigen. Infolge der zulässigen, relativ hohen Schaltwiderstände bietet sich als extrem flache Eingabemöglichkeit Leitgummi an, der allerdings bei Manuskripterarbeitung noch nicht für den Amateur zugänglich war. Er wird jedoch im Rechnerbau eingesetzt und ergibt weiche, ermüdungsarme Eingaben. Für den Fall, daß sich die Marktlage inzwischen in diesem Punkt verbessert hat, deutet Bild 4.6 eine mögliche Tastatur an. Die Leitgummifläche ist durch eine dünne Isolierplatte mit Aussparungen für die einzelnen Kontaktflächen von diesen getrennt. Die Tasten liegen auf dem Gummi. Beim Betätigen wird zwischen dem mit dem entsprechenden Operationseingang verbundenen Leitgummistück und der Gegenelektrode eine leitende Verbindung hergestellt, die schon im Kiloohmbereich zuverlässig funktioniert. Als Variante, die eine einfachere Gestaltung der Gummiplatte zuläßt, kann der Leitgummi auch eine Brücke zwischen 2 benachbarten Kontakten herstellen.

5. Stromversorgung

Für die Betriebsbedingungen der Rechnerschaltkreise *U 820 D* und *U 821 D* hat der Hersteller folgendes festgelegt: Mit Bezugspotential $U_{DD} = 0$ V sollen U_{SS} und $-U_{GG}$ im Bereich von 6,6 bis 8,1 V liegen (typisch 7,2 V). Das entspricht praktisch dem Betriebsbereich von 6 NC-Akkumulatoren, und aus einer solchen Batterie von 450 mAh-Knopfzellen wurde auch der *minirex* betrieben. Auf Grund entsprechender Betriebserfahrungen an mehreren Schaltkreisexemplaren unterschiedlichen Herstellungszeitraums besteht eine relativ hohe Sicherheit dafür, daß der Amateur auch unterhalb dieser Werte noch zuverlässige Ergebnisse erhält. Dabei wird offensichtlich die Ausführung von Rechnungen, die den vollen Zahlenbereich des Schaltkreises beanspruchen, früher fehlerhaft (man bedenke daher R_i der Batterie und den dabei größeren Strombedarf!) als etwa die oft für sekundäre Anwendungen auftretende Addition im Bereich der ersten 3 Stellen. Diese Beobachtung wurde im Spannungsbereich unterhalb von 5 V gemacht (eingeschränkte Funktion exemplarabhängig bis 3,95 V). Aus diesen Erfahrungen heraus empfiehlt sich der Betrieb mit mindestens 5 V, wobei 6 V als quellenbedingte Vorzugsspannung gelten können (3 × *RZP 2* für Kurzzeitbetrieb bzw. *SZ 600/5,6* bis *SZ 600/6,8* bei Versorgung aus einem Transformator). Der Erzeugung der gegenüber dem auf 0 V liegenden U_{DD}-Anschluß negativen Gatespannung kommt entgegen, daß sie mit nur maximal 9 mA (*U 821 D*) bzw. 15 mA (*U 820 D*) belastet wird, während die positive U_{SS} bis 20 mA (*U 821 D*) bzw. 35 mA (*U 820 D*) liefern muß. Aus dieser positiven Spannung wird nicht nur die LED-Anzeige betrieben, sondern sie speist auch jede TTL-Peripherie, wenn — z. B. mit Dioden in Durchlaßrichtung — der über 5 V (4,75 bis 5,25 V) liegende Spannungsteil abgefangen wird. Nach dem Strombedarf einer solchen Peripherie richten sich im Falle von mit Z-Dioden stabilisiertem Netzbetrieb die Größe und die Belastbarkeit des Z-Dioden-Vorwiderstands. Die zulässige Z-Dioden-Belastung (je nach Kühlmaßnahmen zwischen etwa 1 und 5 W) bestimmt die Möglichkeit, diese Peripherie wahlweise abzuschalten bzw. auf eine andere mit kleinerem Strombedarf überzugehen (je nach Aufgabe).

Bei Peripherie in CMOS-Technik entfallen diese Beschränkungen, und die Stromversorgungsschaltung ist nur noch dem von der LED-Anzeige bedingten Belastungshub anzupassen. Bei voller Anzeige (8 Stellen) und Betrieb aller Segmente bilden drei *VQC 32* eine Zusatzlast von etwa 40 bis 50 mA, je nach Auslegung der Segment-Vorwiderstände (Größenordnung 150 bis 180 Ω) und des tatsächlichen Spannungswerts von U_{SS}. Die *VQD 30* dagegen ergibt bei entsprechend größeren Segmentvorwiderständen nur einen Hub von etwa 15 mA zwischen „0" und „88888888". Für die Erzeugung der negativen Spannung gibt es prinzipiell 3 Möglichkeiten:

— zweite Spannungsquelle bei Batteriebetrieb,
— symmetrisches Netzteil bei Transformatorspeisung,
— Transverter bei Betrieb aus einer beliebigen Quelle, am sinnvollsten aus der positiven Betriebsspannung (aus Batterie oder Netz gewonnen).

Die Transvertierung kann mit der Takterzeugung kombiniert werden, oder der Transverter wird aus dem Taktgenerator fremdgesteuert (vergleiche auch Abschnitt 6. und Abschnitt 10.).

5.1. Batteriespeisung

Nach Bild 5.1 ist dies die einfachste, aber auch die am wenigsten wirtschaftliche Lösung. Sie kommt für Kurzzeitbetrieb in Frage oder für erste Experimente mit dem Schaltkreis. Auch wenn eine stärker belastbare 5- bis 8-V-Quelle ohnehin vorhanden ist, kann zunächst mit dieser Zweitbatterie für U_{GG} gearbeitet werden. Es ist dabei auch denkbar, daß sie in Form einer kleinen NC-Batterie realisiert werden kann (z. B. des preisgünstigen Typs *7 D 0,1* für 8,4 V Nennspannung, eventuell mit in Durchlaßrichtung geschal-

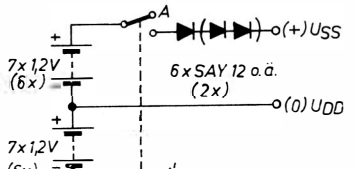


Bild 5.1
Batteriespeisung als einfachste Lösung für Kurzzeitbetrieb. Mit dieser Lösung hält man die Nennbedingungen im Spannungsbereich von NC-Akkumulatoren ein

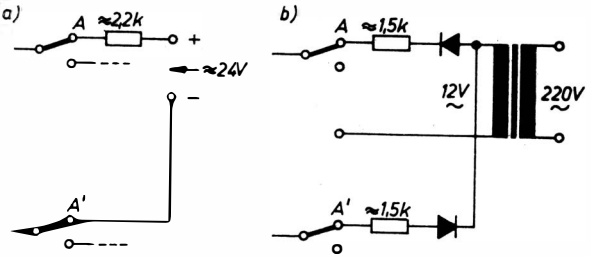


Bild 5.2 Betriebsspannungsschalter mit Ladestellung für Bild 5.1

teten Dioden in der Spannung verringert). Legt man den Ausschalter als Taste mit Umschaltkontakten aus, so läßt sich leicht eine Nachladung in den Betriebspausen erreichen (Bild 5.2). Allerdings sollte das nur in Form einer Erhaltungsladung mit kleinem Strom geschehen (etwa 2% des Nennladestroms), wenn man nicht mit einer speziellen Zusatzschaltung für definiertes Laden mit Konstantstrom über die erforderliche Zeitspanne sorgt.

Sinnvoller ist Batteriespeisung aus einer einzigen Batterie, so daß ein Transverter erforderlich wird. Dafür gibt es bewährte Schaltungen mit kleinem Volumenbedarf, die in Abschnitt 5.3. vorgestellt werden. Bei Speisung aus 2 Batterien ist schließlich noch der unterschiedliche Strombedarf beider Hälften zu berücksichtigen, so daß sich nach einer typabhängigen Betriebszeit ein gegenseitiges Austauschen empfiehlt.

Im Falle von Batteriespeisung ist eine Spannungsüberwachung notwendig, damit die Batteriespannung nicht unter den Wert

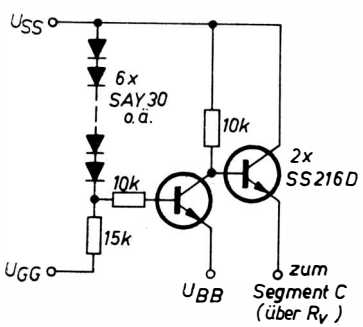


Bild 5.3
Vom Schaltkreis-Hersteller empfohlene Spannungsüberwachung (gehört zu Bild 5.8)

für sicheren Rechenbetrieb sinkt. Solche Überwachungsschaltungen erfordern meist schon vor der eigentlichen Signalisierungsphase einen gewissen Zusatzstrom, den man so niedrig wie möglich halten sollte. Angesichts des leider nicht sehr scharfen Knicks von Z-Dioden-Kennlinien bei kleinen Strömen ist das stets mit einem Kompromiß verbunden. Die vom Hersteller vorgeschlagene Möglichkeit nach Bild 5.3 ist in Zusammenhang mit seiner ebenfalls angegebenen Transverterschaltung (siehe Abschnitt 5.3.) zu sehen und mit der dort gewählten Spannungszuordnung. Sobald die überwachte Spannung den zugelassenen Mindestwert unterschritten hat, steuert der Ausgangstransistor Segment C an, so daß die Anzeige auf dieses Ereignis aufmerksam macht.

5.2. Speisung aus Netzteil

Die Selbstherstellung von Transformatoren für Lasten, wie die in dieser Broschüre auftretenden, ist Zeitverschwendung. Ein Klingeltransformator vom Typ *KT 07* mit einem einfachen 1-Weg-Gleichrichter liefert ohne weiteres bis zu 250 mA Gleichstrom bei einer Spannung am Ladekondensator von mehr als 5 V, einem Wert, der sich für viele Rechnerschaltkreisexemplare als noch aus-

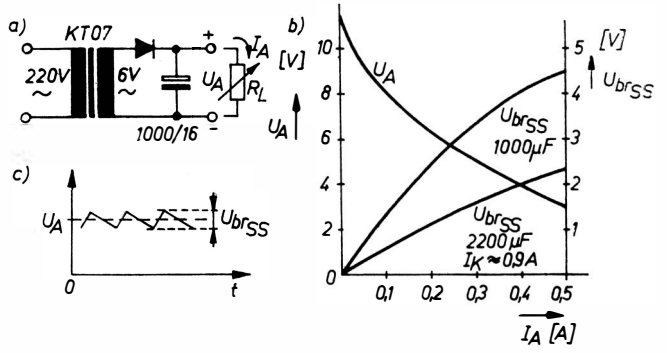


Bild 5.4 Lastkennlinie eines Klingeltransformators *KT 07* mit 1-Weg-Gleichrichter bei Netz-Nennspannung; a — Meßschaltung, b — Kennlinien für Gleich- und Brummspannung, c — zur Definition der Brummspannung

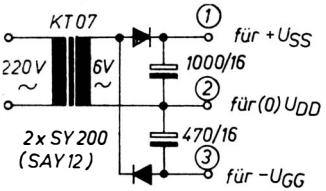


Bild 5.5
Erzeugen der beiden benötigten Spannungen aus einer *KT 07*-Wicklung mit 5-V-Ausgang für TTL-Steuerschaltungen

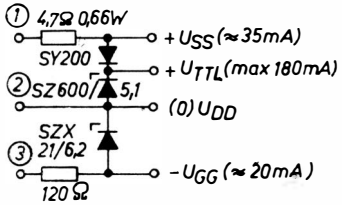


Bild 5.6
Stabilisieren der beiden Spannungen in Bild 5.5 (Ziffern siehe Bild 5.5)

reichende Mindestspannung erwies. Bild 5.4 zeigt die Lastkennlinie einer solchen Einheit bei Eingangs-Nennspannung.
Die zweite, bekanntlich nur gering belastete Spannung ergibt sich sehr einfach durch die bekannte Spannungsverdopplerschaltung mit einem zusätzlichen Gleichrichter und einem zweiten Kondensator (Bild 5.5). Diese Schaltung wird gemäß Bild 5.6 durch eine für die vorliegenden Zwecke völlig ausreichende Z-Dioden-Stabilisierung ergänzt. Die Dimensionierung bezieht sich auf die sinnvolle obere Belastungsgrenze der positiven Strecke, so daß dort neben der Belastung durch die Anzeige noch TTL-Peripherie mit etwa 150 bis 180 mA Stromaufnahme angeschlossen werden kann. Die Z-Diode der positiven Seite benötigt bei diesem Transformator nur dann ein Kühlblech von etwa 10 cm² Größe, wenn die TTL-Peripherie nicht ständig angeschlossen ist.

5.3. Transverter für $-U_{GG}$

Es gibt — wie bereits zum Teil angedeutet — mindestens 3 Möglichkeiten, die negative Spannung U_{GG} aus der positiven Gleichspannung für die Hauptlast der Rechnerschaltung zu gewinnen:
a — Durch einen selbstschwingenden Transverter, der gleichzeitig den Takt für den Rechnerschaltkreis erzeugt. Im Interesse

einer optimalen Nutzung bezüglich Rechengeschwindigkeit muß dann diese Frequenz in der Größenordnung von 250 kHz liegen. Diese Frequenz ist jedoch nicht sehr stabil, wenn man auch eine wesentlich höhere Konstanz erreichen kann, als sie etwa die Netzfrequenz hat. (Man bedenke bei dieser Variante, daß die Frequenz — taktbedingt — relativ hoch liegt, u. U. jenseits des bei den gewählten Bauelementen maximalen Wirkungsgradbereichs.)

b — Durch einen Transverter beliebiger Frequenz, wenn der Takt getrennt erzeugt wird. (Das empfiehlt sich für viele der in dieser Broschüre behandelten Anwendungen, wenn zeitgenaue Abläufe frequenzstarr mit der Traktfrequenz verknüpft werden sollen, denn aus der Taktfrequenz wird ja auch die Multiplexfrequenz abgeleitet, die wiederum Ausgangsfrequenz für externe Takte sein kann.) Dieser Transvertertyp kann dann auch in einem für hohen Wirkungsgrad günstigen Frequenzbereich betrieben werden.

c — Durch einen vom Takt gesteuerten Transverter oder einfach einen Verstärker mit Transformatorausgang, wobei der Transformator auf einem kleinen Schalenkern realisiert wird. Der Takt

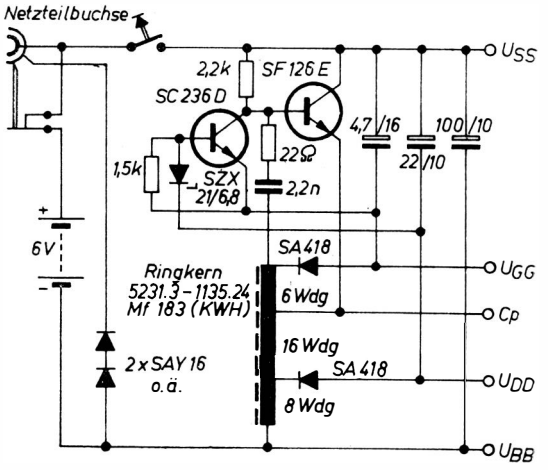


Bild 5.7 Vom Schaltkreishersteller empfohlener Transverter für *U 820 D/U 821 D*

kann dann wieder mit der jeweils geforderten Genauigkeit gemäß Abschnitt 10. erzeugt werden.
Für den Fall a bietet sich die Herstellerangaben entstammende Schaltung nach Bild 5.7 an. Dieser Transverter erzeugt aus einer Batteriespannung von 6 V, die unmittelbar sonst nur noch für die Anzeige verwendet wird, datenblattgerechte + 7,2 V und − 7,2 V sowie die Taktfrequenz mit der erforderlichen Spannung. Alle Dimensionierungsdaten sind dem Bild zu entnehmen.
Ein Modell mit eigener Takterzeugung in einem Multivibrator, der über einen Transistor mit Transformatorausgang die negative Spannung bereitstellt, wird in Abschnitt 6. gezeigt. Diese Schaltungsart läßt sich, wenn der Multivibrator durch einen ebenfalls relativ frequenzstabilen *LC*-Oszillator ersetzt wird, entsprechend den weiteren genannten Möglichkeiten modifizieren.

5.4. Transverter für gleichzeitige Speisung von Rechner und Anzeige

Für Schaltungsanordnungen ohne Segmenttreiber, z. B. *U 821 D* mit *VQD 30*, wird die Anzeige zwangsläufig mit aus der positiven (U_{SS}) Spannung über die Segmentausgänge versorgt. Der Transverter muß dann die erhöhte Leistung aufbringen und auch die Laständerungen durch die unterschiedliche Anzeige ausregeln.
Von den vielen Schaltungsmöglichkeiten beim Entwurf eines Transverters bietet der geregelte Sperrwandler die größten Vorteile:
— großer Eingangsspannungsbereich,
— geringer Aufwand,
— Änderung der Ausgangsspannung in weiten Grenzen möglich,
— geringe Lastabhängigkeit.
Beim Sperrwandler „lädt" ein Transistor in seiner Stromflußphase eine Induktivität mit magnetischer Energie. In der Sperrphase fließt diese Energie in den Verbraucher. Dieses Verhalten wird durch entsprechende Polung des Ausgangsgleichrichters erreicht. Die durch den Transistor zugeführte Energiemenge läßt sich leicht verlustarm und in weiten Grenzen steuern.
Von Nachteil ist der höhere Spitzenstrom im Schalttransistor gegenüber anderen Schaltungen, und hier liegen auch die Grenzen für seinen Einsatz, z. B. bei niedrigen Eingangsspannungen und

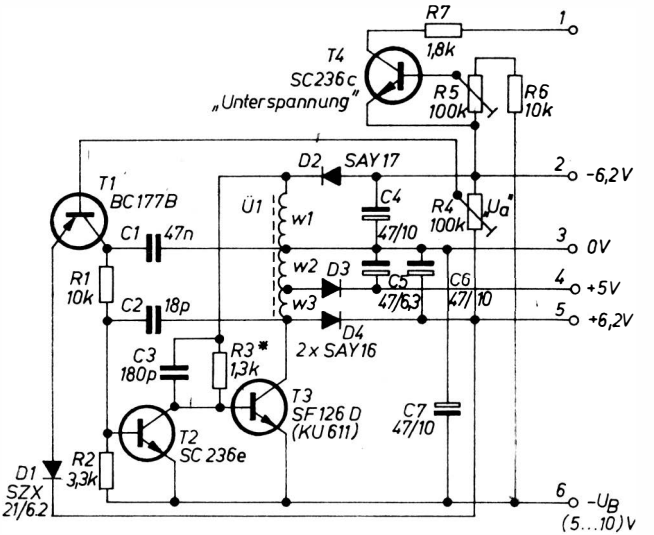


Bild 5.8 Geregelter Sperrwandler für 3 Ausgangsspannungen, also auch für TTL-Peripherie (automatische Ablaufsteuerungen) und für Anzeigeneinheit, mit Unterspannungsanzeige. Abgleich unter Nennlast bei $U_{B\,min}$ auf $U_a = U_{amax} - 0{,}1$ V mit R3
Ü1: w1 = 15,5 Wdg. 0,35 CuL
w2 = 13 Wdg. 0,35 CuL
w3 = 2,5 Wdg. 0,35 CuL
Schalenkern 14 × 8; Mf 183; A_L 250
Sekundäre Belastung nicht größer, als einer Eingangsleistung P_e von < 1 W bei *SF 126* bzw. < 4 W bei *KU 611* entspricht

hohen Ausgangsleistungen. Mit der internen Batteriespannungsgrenze von 5 V (TTL-Spannung) ist jedoch der Betrieb des Rechners schon mit Transistoren möglich, die einen Kollektorstrom von 500 mA vertragen. Günstiger sind hier pnp-Transistoren, weil der gemeinsame Pol der Minuspol der Stromversorgung ist. Schaltungen mit wenig Schaltkreisen für einfache Ablaufsteuerungen bzw. solche in Low-Power-Ausführung können zusätzlich aus dem Transverter gespeist werden. In diesem Fall genügt eine einfache Stromversorgung. Der Betrieb aus Batterien ist dann ebenso möglich (Funktion fast bis zur halben Nennspannung) wie die Speisung aus einfachen Gleichrichterschaltungen. Betrieb aus

niedrigeren Spannungen bzw. höhere Ströme (> 55 mA) zur Versorgung der TTL-Schaltkreise erfordern den Einsatz von Transistoren mit höherem zulässigem Kollektorstrom (z. B. *KU 611*). Damit ist auch eine höhere Stromverstärkung bei den auftretenden hohen Spitzenströmen am Ende der Stromflußphase des Transverters gewährleistet.
Bild 5.8 zeigt ein Beispiel für einen geregelten Sperrwandler für 3 verschiedene Ausgangsspannungen zum Betrieb des Rechnerschaltkreises *U 820 D* (*U 821 D*) einschließlich der Anzeigeschaltung *VQD 30* sowie der TTL-Versorgungsspannung für die Ablaufsteuerung entsprechend den in Abschnitt 12. beschriebenen Anwendungsfällen.

Funktion der Schaltung

Nach Anlegen der Batteriespannung fließt über Ü1 und $R3$ ein Strom in die Basis von T3 und sättigt diesen. Der jetzt fließende Kollektorstrom erhöht den Basisstrom durch die Transformation über Ü1 und führt dieser Induktivität magnetische Energie zu, wobei der Kollektorstrom schnell ansteigt (Stromflußphase). Reicht der Basisstrom zur Sättigung des Transistors am Ende nicht mehr aus, so ist kein weiterer Anstieg des Kollektorstroms möglich. Der durch die Transformation erhöhte Basisstrom geht zurück und verringert den Kollektorstrom. Die Schaltung kippt in die Sperrphase des Transistors, wobei die Spannung an der Induktivität durch das zusammenbrechende Magnetfeld sprunghaft ansteigt. Die Dioden D2 bis D4 öffnen dabei, und die gespeicherte magnetische Energie in Ü1 wird als elektrische Energie in den Kondensatoren $C4$ bis $C6$ gespeichert. Während dieser Zeit wird T3 über $R3$ gesperrt. Reicht am Ende die Sperrspannung nicht mehr aus, steigt der Basisstrom wieder, und der Vorgang beginnt von neuem. Die Kondensatoren $C2$ und $C3$ verbessern dabei das Schaltverhalten. Ist die Spannung an $C6$ groß genug, so leitet D1 und damit T1. Dessen Basisspannung läßt sich über $R4$ einstellen und gestattet damit eine Variation des Einsatzpunkts. Der Kollektorstrom von T1 erzeugt eine Spannung an $R2$, die bei genügender Größe über den Transistor T2 einen Teil des Basisstroms von T3 ableitet und so die im Transverter umgesetzte Leistung „zurücksteuert". Die positive Ausgangsspannung (6 V) stellt sich auf einen Wert ein, der abhängig ist von U_{BE} (T2), der Stellung von $R4$ und der Z-Spannung von D1. Der Strom durch

D1 wird durch den Widerstand $R2$ und die Basis-Emitter-Spannung von T2 bestimmt. Der Transverter enthält zusätzlich eine Auswerteschaltung für Unterspannung an der Batterie mit dem Transistor T4. Dieser liegt mit dem Emitter an der stabilisierten negativen Spannung. Seine Basis erhält über den Spannungsteiler $R5/R6$ die Versorgungsspannung. Der Transistor wird also leitend, wenn die Batteriespannung unter einen mit $R5$ einstellbaren Wert sinkt. Im Gegensatz zur vom Schaltkreishersteller vorgeschlagenen Unterspannungsanzeige (Bild 5.3) ist hier eine zusätzliche Leuchtdiode zur Anzeige vorgesehen, damit im Grenzbereich bei einsetzender Unterspannung die Rechnung beendet werden kann. Man stelle den Einsatzpunkt der Anzeige daher mit entsprechender Sicherheit ein.

6. Stromversorgung und Takterzeugung für einen kompletten Taschenrechner

Die Taktgenerator- und Stromversorgungseinheit nach Bild 6.1 wurde in ähnlicher Form in [2] vorgeschlagen. Um eine möglichst vielseitige Kombination mit Rechnerbausteinen zu gestatten bzw. um jene auch bei Bedarf getrennt mit Spannung und (genauerem oder in der Frequenz verschiedenem) Takt versorgen zu können, entstand dafür eine getrennte Leiterplatte. (Bild 6.2 und Bild 6.3; Bild 6.2 wurde gegenüber [3] korrigiert und ergänzt!)

Ein Schalenkern der Größe 14 × 8, $A_L = 160$, wird mit den angegebenen Wicklungen versehen (Drahtdurchmesser etwa 0,2 mm, Punkte: Wicklungsanfang bei gleichem Wickelsinn).

Man klebt ihn auf der angerauhten Leiterplatte mit *Epasin* o. ä. fest und sichert zusätzlich noch durch einen konzentrisch eingelöteten 1-mm-Draht. Die Z-Diode zur Stabilisierung von U_{GG} ist nur für den Leerlauffall von Bedeutung.

Die Baugruppe wird über 5 Drähte mit dem übrigen Gerät verbunden und an passender Stelle montiert. Dazu genügen, wenn ein Plastgehäuse verwendet wird, 2 auf die Leiterseite gelötete Drähte, die man durch Erwärmung mit dem Lötkolben in die Gehäusewand eindrückt. Besonders beim „sparsameren" *U 821 D* kann der Koppelwiderstand zum *KFY 16* auf bis zu 12 kΩ er-

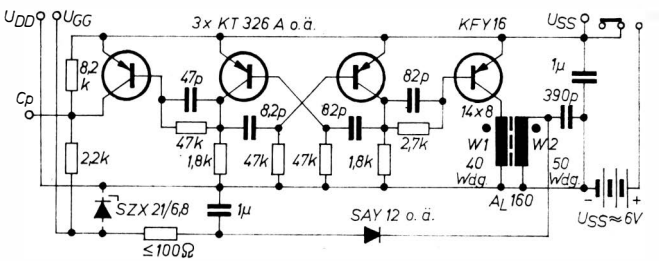


Bild 6.1 Kombinierte Taktgeber- und Transvertereinheit für Batteriebetrieb zum Einsatz im Rechner nach Abschnitt 7. (Schalenkern 14 × 8, Al 160, Draht etwa 0,25 CuL, w1 40 Wdg., w2 50 Wdg.)

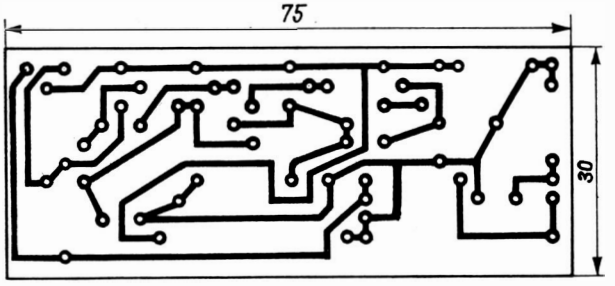


Bild 6.2 Leiterbild für den Taktgeber- und Transverterbaustein nach Bild 6.1

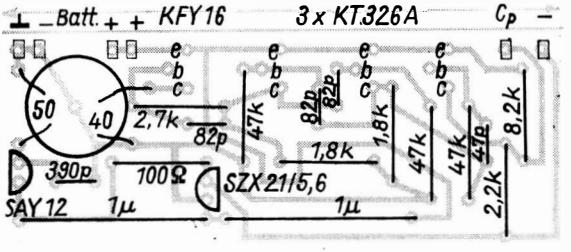


Bild 6.3 Bestückungsplan zu Bild 6.2

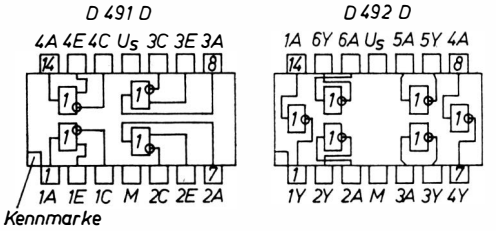
höht werden, solange noch ausreichend U_{GG} geliefert wird. Das senkt die Stromaufnahme erheblich. Statt der 1,8-kΩ-Widerstände sind dabei 2,7 kΩ möglich.

7. Kompletter 4-Spezies-Taschenrechner der *minirex*-Klasse

Wenn auch der ursprüngliche Haupteinsatzfall der Schaltkreise *U 820 D*/*U 821 D* nur Ausgangspunkt für weitergehenden Einsatz sein sollte, so hat der Bau eines kompletten Rechners derzeit noch einen gewissen Sinn. Das betrifft einmal das direkte Einarbeiten in alle Funktionen des Schaltkreises am praktischen Modell, dessen einwandfreies Arbeiten unter verschiedenen Betriebsbedingungen getestet werden kann. Zum anderen ergibt sich (Manuskriptzeitpunkt) bei Einsatz eines verbilligten Bastelschaltkreises und einer Basteltyp-Anzeigeeinheit sogar noch ein erheblicher Preisvorteil gegenüber einem handelsüblichen Rechner. Das sollte allerdings für den Amateur im vorliegenden Zusammenhang höchstens ein Grund mehr, nicht aber das ausschlaggebende Moment sein.

7.1. Konzeption

Aus den beiden Möglichkeiten für die Ansteuerung der Anzeige, nämlich integrierte Treiber (*D 491* und *D 492*) und dem Einsatz leichter erhältlicher Einzeltransistoren, wurde die zweite gewählt. Das hatte Beschaffungs- und Preisgründe (wiederum unter den Voraussetzungen bei Manuskriptentstehung), ergab aber auch eine freizügiger gestaltete Leiterplatte. So war es möglich, mit einer für den Amateur leichter zu realisierenden 1-Lagen-Platte auszukommen. Zur Abrundung der Informationen zur Ansteuerung gibt jedoch Bild 7.1 die Beschaltung für den Einsatz integrierter Treiber wieder.
Die Aufteilung des Rechners in die Baugruppen Spannungsquelle, Takt- und Stromversorgung, Tastatur und „Rechnerbaustein" geht aus Bild 7.2 hervor. Dabei wurde für mobilen Einsatz als Spannungsquelle eine 6-V-Batterie aus 3 × *RZP 2* vorgesehen, was etwa 4 Betriebsstunden ermöglicht. Für stationären Betrieb bedient man sich darum besser eines Netzteils nach Abschnitt 5. Die dafür sinnvolle Schaltbuchse, z. B. in Form einer Ohrhörerbuchse, ist im vorgestellten Mustergerät noch nicht enthalten.



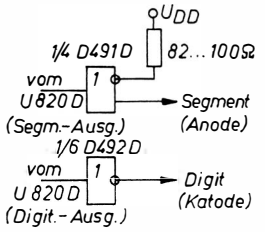


Bild 7.1
Integrierte Treiberschaltkreise: Segmenttreiber *D 491 D* und Digittreiber *D 492 D* (*D 491 D* wird nicht mehr hergestellt, da *U 821 D* in Verbindung mit *VQD 30* ohne Segmenttreiber auskommt), Anschlußbilder und Einsatz

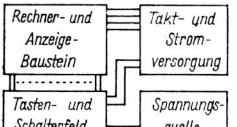


Bild 7.2
Aufteilung des kompletten Taschenrechners in Baugruppen

7.2. Rechnerbaustein

Bild 7.3 zeigt den Stromlaufplan von Rechnerbaustein und Tastenfeld. Aus Gründen der Vollständigkeit wurde die Takt- und Stromversorgung nochmals mit wiedergegeben.

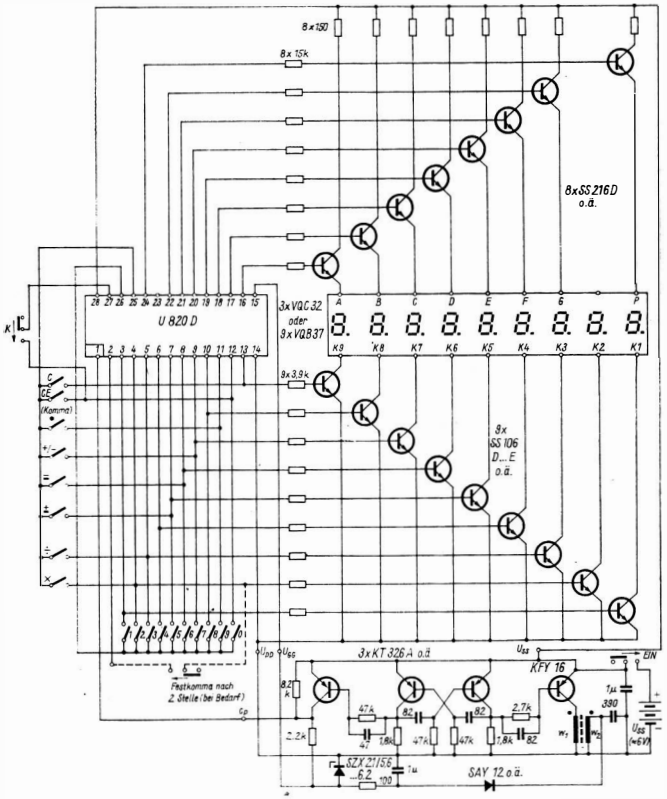


Bild 7.3 Kompletter Taschenrechner mit *U 820 D*; Rechnerbaustein mit Tastenfeld und Stromversorgung. Bei *U 821 D* entfallen $8 \times 150\ \Omega$ und $8 \times SS\ 216\ D$; $8 \times 15\ k\Omega$ werden $8 \times \approx 680\ \Omega$ (direkt an A ... P), statt *SS 106* auch *SS·216*

Die Leiterplatte des Rechnerbausteins ist in Bild 7.4 dargestellt; die Bestückung (mit einer Korrektur im unteren Teil gegenüber der Vorveröffentlichung in [3]) geht aus Bild 7.5 hervor. Die Rechnerplatte trägt als Anzeigeeinheit drei *VQC 32*. Bei Einsatz der *VQB 37* muß das Leiterbild geändert werden, da deren Anschlüsse im 1,25-mm-Raster liegen, oder man bestückt mit ihnen

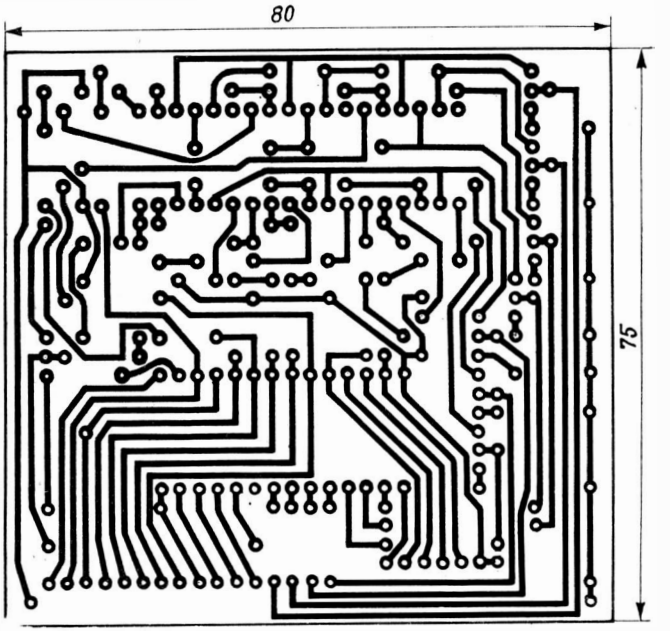


Bild 7.4 Leiterbild des Rechnerbausteins mit *U 820 D*. Eine Leiterplatte mit *U 821 D* für gleiche Gehäusegröße konnte auf Grund der Materialsituation erst nach Manuskriptabgabe für ein „typofix"-Blatt vorbereitet werden. Näheres dazu finden Interessenten im Jahrgang 1980 der Zeitschrift „FUNKAMATEUR"

eine Modulplatte, so daß eine *VQD-30*-ähnliche Anordnung zustande kommt (vergleiche auch Anzeigeeinheit *VK 11*). Die leider nicht mehr gefertigte, als Basteltyp aber noch erhältliche *VQC 32* hat außerdem den Vorteil eines größeren Ablesewinkels. Die für den Multiplexbetrieb erforderlichen Verbindungen zwischen den gleichnamigen Segmenten bedingen einige Drahtbrücken, ebenso wie die zwangsläufig am Rechnerschaltkreis zusammenlaufenden Leitungen. Die Anschlußpunkte nach außen wurden alle an die untere Plattenkante geführt. Die enge Anordnung ließe sich höchstens durch eine Zickzackkonfiguration auflockern. Die

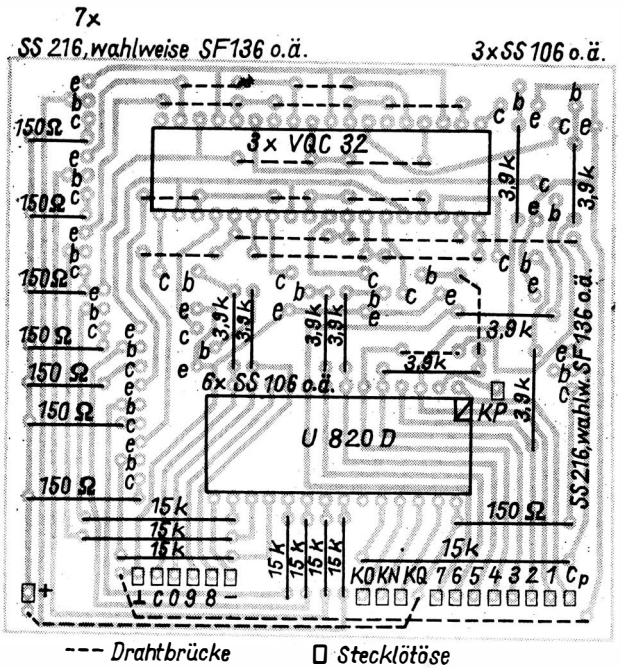


Bild 7.5 Bestückungsplan zu Bild 7.4

Plattengröße war jedoch durch die vorgesehene Gehäusegröße und durch die Maße der übrigen Teile festgelegt. Die im Mustergerät noch angewendete Methode, die Anzeigeanschlüsse jeweils abwechselnd um 2,5 mm gegeneinander nach innen bzw. außen zu biegen, ist im Grunde genommen unnötig und wurde daher in Bild 7.4 bereits geändert. Lötaugen für unterschiedliche Potentiale im 2.5-mm-Raster unterzubringen erfordert auch der Schaltkreis selbst.

Bei Verwendung der Baugröße 2 × 7 für alle Widerstände passen höchstens die ersten drei 150-Ω-Exemplare (in Bild 7.5 oben links) etwas knapp. Man sollte sie daher nicht direkt auf der Leiterplatte aufliegen lassen, sondern die Anschlüsse zunächst leicht nach innen biegen. Die 4 nach unten weisenden 15-kΩ-Widerstände sind bei Baugröße 3 × 11 leicht voneinander abzubiegen.

Für die Segmenttransistoren wurden 2 Anschlußbilder vorgesehen, so daß sich neben Plasttransistoren, die in bekannter Weise mit schräg zur Linie e-b-c stehendem Gehäuse angeordnet werden (Anschlußbiegung nur quer zu den Fahnen erlaubt!), auch runde Typen verwenden lassen. Ganz zuletzt wird der Schaltkreis eingesetzt. Bis dahin läßt man ihn, dadurch gegen statische Spannungen geschützt, im Lieferzustand (meist in Alufolie). Die für den Schaltkreis auf der Leiterplatte vorgesehenen Lötaugen sollten bereits vor dem Einsetzen verzinnt werden. Nun legt man am besten eine Metallfolie oder Halbzeugplatte auf den Tisch und darauf den Schaltkreis in seiner Verpackung, ebenso die Leiterplatte. Zum Potentialausgleich mit dem Körper genügt Anfassen der Metallfolie. Man sollte außerdem möglichst keine „aufladefreudige" Kunststoffkleidung tragen; Stühle mit Kunststoffbelag sind ebenfalls gefährlich. Nun wird der Lötkolben vom Netz getrennt. Von da an heißt es schnell arbeiten: Spitze ebenfalls auf die Folie tippen, dann Anschlüsse anlöten, solange das Zinn flüssig ist. Eventuell in 2 Arbeitsgängen mit Zwischenheizen löten; Potentialausgleich nicht vergessen. Die Leiterplatte selbst ist im Maßstab 1 : 1 dargestellt. Damit sind die Körnerpunkte zum di-

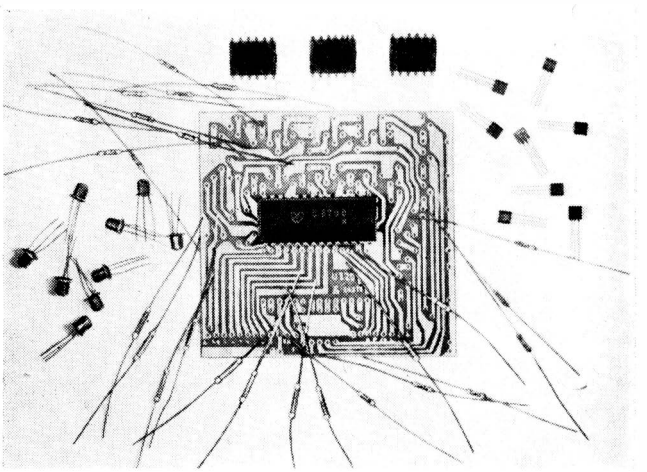


Bild 7.6 Bauelemente des Rechnerbausteins mit *U 820 D*

rekten Durchkörnen geeignet. Mit einer spitzen Schreibfeder gelingt das Zeichnen der Deckschicht auf der gesäuberten Kupferfolie der Halbzeugplatte noch am besten. *Röco*-Lack, mit Kopierstiftmine gefärbt und durch Abdunsten etwas angedickt, bewährt sich dafür nach wie vor sehr gut.

Wer mit *typofix-electronic*-Universalfolie bereits entsprechende Erfahrungen hat, kann die Platte selbstverständlich in großen Teilen, mindestens in den Lötaugen, auch „abreiben". Am sinnvollsten ist für solche dichten Muster eine Kombination zwischen Abreiben von Folie und Zeichnen mit Lack. Die Bauelemente für die Leiterplatte zeigt Bild 7.6.

7.3. Tastatur

Immer unter dem Gesichtspunkt der mehrfachen Verwendbarkeit wurde auch für das Tastenfeld einschließlich des Ein- und des Konstantenschalters eine getrennte Platte vorgesehen. Ein Festkommaschalter ist darin nicht enthalten, bei Bedarf kann er noch seitlich im Gehäuse untergebracht werden.

Das Tastenfeld enthält 18 Tasten (Bild 7.7). Ihre Anordnung kann gegenüber der abgebildeten, die der anderer Rechnermodelle ähnelt, aus 2 Gründen anders gestaltet werden: im Interesse einfacherer interner Verbindungen oder zur günstigeren Zuordnung zu den Anschlüssen auf der Rechnerplatte. Verdrahtet wird dorthin mit möglichst dünner Litze.

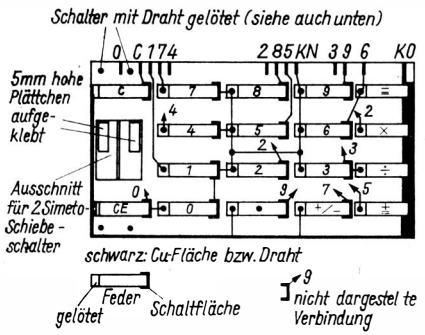


Bild 7.7
Tastenfeldgestaltung (Vorschlag). Im Mustergerät wurde dazu eine Streifenleiterplatte benutzt

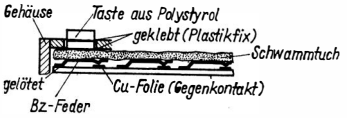


Bild 7.8
Tasteneinzelheiten. Kontaktfeder: Bronze- oder Federmessingblech; Taste: 2 Blättchen *Polystyrol*-Plastwandfliesen, je etwa 3 mm dick, übereinandergeklebt, in verschiedenen Farben. Beschriftung z. B. mit Abreibefolie oder *Polylux*-Faserschreiber

Die Tasten müssen zumindest so gut sein, daß sie nicht bis zum nächsten Abfragezyklus prellen, sonst entstehen Mehrfacheingaben. Elektronische Lösungen erschienen zu aufwendig und kamen ebenso wie der Einsatz industrieller (z. B. Mikro-) Taster aus Platzgründen nicht in Frage. So wurde die Leiterplatte nach Aufbringen der Zinnschichten für die Befestigung der einzelnen Kontakte lediglich leicht gefettet. Das Eindringen von Staub verhindert ein über alle Kontakte gelegtes Schwammtuch, wie es als Dreifachpackung „Haushaltstücher aus *PUR-Schaumstoff*" in Kaufhallen zu finden ist. Es könnte zwar etwas dichter und gleichzeitig dünner für diesen Zweck sein, hat sich aber im Mustergerät gut bewährt. Es überträgt den Druck der Knöpfe mit relativ großem Federweg. Beim Einbau des Tastenfelds ist daher bereits

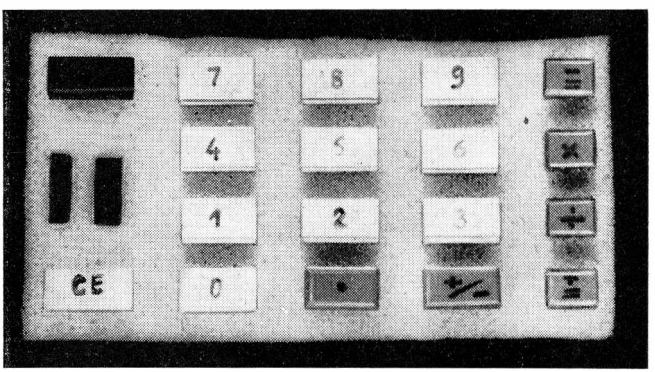


Bild 7.9 Einheit „Tastenträger" (Schwammtuch mit aufgeklebten Tasten); wird von hinten in das Gehäuse geklebt

eine gewisse Vorspannung (Andruck) zu erzeugen, sonst braucht man zu dicke Tasten, die weit aus der Deckplatte herausragen müssen. Das Schwammtuch hält die Tasten gleichzeitig in ihrer Ruhelage. Dazu klebt man die Tasten mit einem Tropfen Plastkleber auf dem bereits eingebauten Tuch durch die Deckplattenöffnungen hindurch fest. Einzelheiten dieser Konstruktion sind in Bild 7.8 und Bild 7.9 zu erkennen. Die Knöpfe wurden aus jeweils 2 übereinandergeklebten rechteckigen Abschnitten von etwa 3 mm dicken, verschiedenfarbigen Polystyrol-Plastwandfliesen hergestellt.

7.4. Gehäuse, Gesamtgestaltung

Aus den eben genannten Plastwandfliesen wird auch das Gehäuse zusammengeklebt. Dabei ist das Größtmaß 120 mm; Spritz- und Werkzeugtoleranzen sind zu berücksichtigen, daher messen! Dieses Maß entschied die Gesamtgestaltung des Rechners. Bild 7.10 zeigt sein Äußeres. Die Außenlänge beträgt 120 mm plus 2 × Plattendicke, die Breite — ebenfalls außen gemessen — etwa 90 mm. Die Dicke von knapp 30 mm ergab sich aus der Bauhöhe von Rechner- und Stromversorgungsbaustein. Für 3 Kleinakkumula-

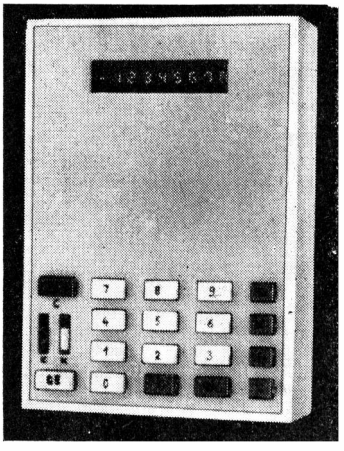


Bild 7.10
Außenansicht des Rechners (Maße 30 mm × 90 mm × 125 mm)

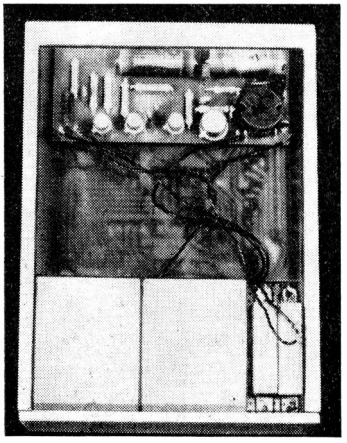


Bild 7.11
Blick in den Rechner — im Bild nur mit 2 Akkumulatoren. Die Hauptleiterplatte wurde mit einer dünnen Folie gegen die Versorgungsplatte isoliert; daher nur durchschimmernde Leiterzüge erkennbar

toren vom Typ *RZP 2* bleibt genügend Platz, außerdem ist immer noch Raum für den Einbau einer Ablaufsteuerung für Stoppuhrzwecke u. ä. vorhanden. In Bild 7.11 sind nur 2 Akkumulatoren zu erkennen. Das geht auf die ersten Erfahrungen mit einfachen Additionen in einem kleinen Zahlenbereich zurück, bei dem die getesteten Exemplare noch knapp unterhalb von 4 V arbeiteten. Im Interesse größerer Sicherheit wurde in der Folge aber stets mit 3 Akkumulatoren gearbeitet, wenn auch die geringere Stromaufnahme von nur etwa 40 mA Grundbedarf und weniger als 80 mA bei Anzeige von 8 × 8 bei 4 V bestechend sein mag. Angesichts der möglichen Rechenfehler ist diese Sparsamkeit am falschen Platz. 3 Akkumulatoren passen am besten nebeneinander in Längsrichtung in das Gerät, wenn auch der Stromversorgungsbaustein längs angeordnet wird. Für die 3 Akkumulatoren wurde daher (noch nicht abgebildet) schließlich eine Batteriekammer als Plastrahmen auf die Innenseite der Bodenplatte geklebt. Kontaktiert wird über einen entsprechend unterteilten Streifen aus kupferkaschiertem Halbzeug. Die weiteren Stufen der Rechnermontage erkennt man aus Bild 7.12 bis Bild 7.15.

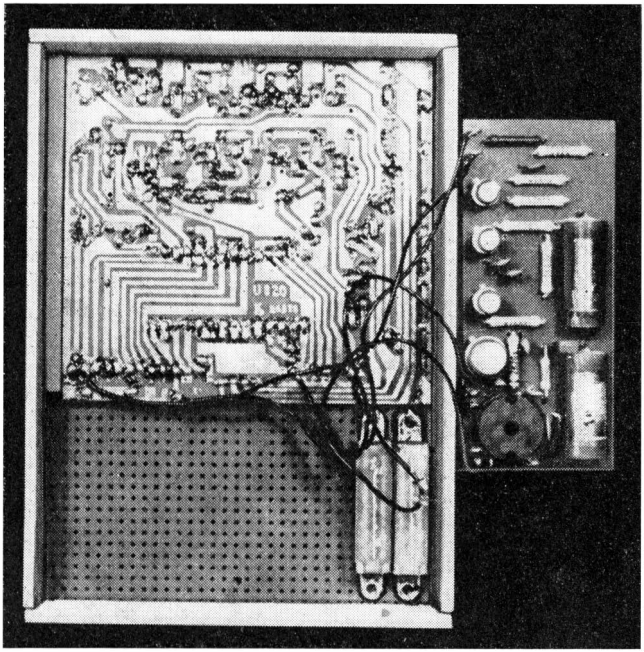


Bild 7.12 Blick in den Rechner nach Entfernen von Versorgungsbaustein, Akkumulatoren und Abdeckfolie. Man erkennt die Tastenfeldrückseite mit den beiden Schaltern (im Bild Konstantenschalter noch nicht angeschlossen)

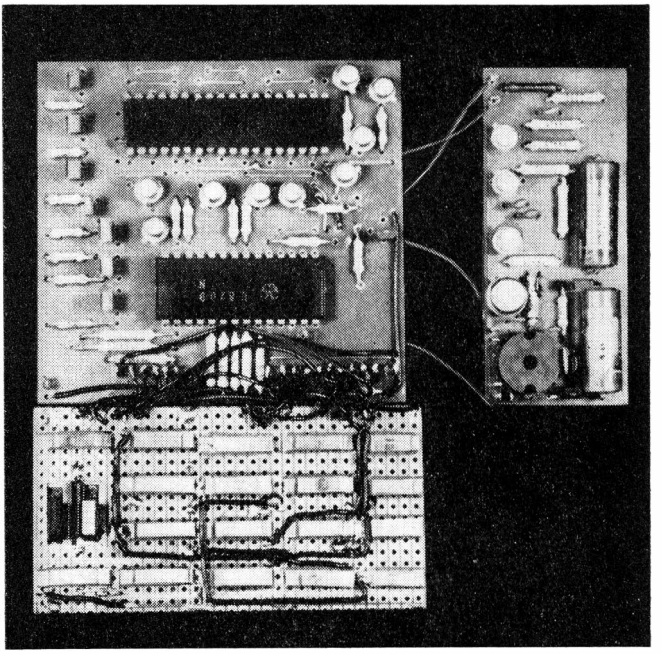


Bild 7.13 Rechnerinhalt ohne Akkumulatoren und Tastenträger, Vorderseite

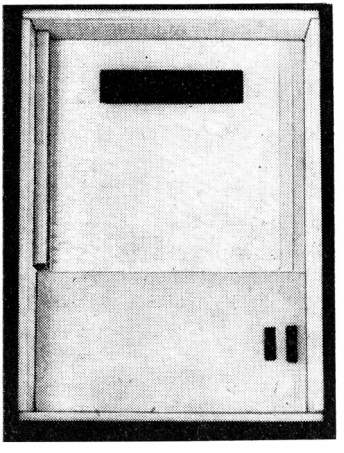


Bild 7.14
Gehäuse mit Tastenträger von innen

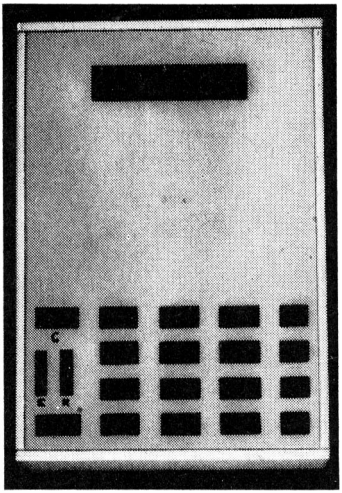


Bild 7.15
Leergehäuse

7.5. Funktionstests und Umgang mit dem Rechner

Die folgenden Angaben beziehen sich auf den *U 820 D*. Geringe Abweichungen (von der Anzeige her) sind auf Grund der weiter vorn gezeigten Unterschiede in der Ausgabe beim *U 821 D* zu erwarten.

Beim Einschalten muß ganz rechts eine Null erscheinen, daneben ein Dezimalpunkt. (Anderenfalls zunächst Taste C drücken.) Das übrige Feld bleibt dunkel. Zur Kontrolle, daß die gesamte Anzeige richtig arbeitet, drückt man zunächst die Vorzeichenwechseltaste. Daraufhin erscheint links ein Minuszeichen. Nun wird 9× die 8 gedrückt. Es erscheinen 8 × 8 sowie im 9. Feld (wo bereits das Minuszeichen leuchtet) nun ein E, das den negativen Eingabeüberlauf anzeigt. (Positiver Überlauf: Anzeige eines C.) Nun wird mit der Taste C gelöscht, und man gibt z. B. 88888 ein, drückt × und nochmals mindestens 8888. Bei Betätigen der positiven Ergebnistaste „±" erscheint neben einer 8stelligen Zahl im 9. Feld ein kleines u als Zeichen für (positiven) Rechenüberlauf. Man löscht wieder mit der Taste C. Bei Eingabeüberlauf lassen sich übrigens die wiedergegebenen 8 Stellen weiterverwenden, wenn die Tastenfolge +/CE/+ gedrückt wird.

Einige Rechenbeispiele

$(8 \times 4) : 5 = 6{,}4$. Dazu genügt der logische Eingabeablauf $8/\times/4/\div/5/-$.

$8 + 4 - 3 = 9$. Jetzt muß der Organisation des *U 820 D* Rechnung getragen werden: $8/-/4-/3-$.

Interessant ist die Konstantenrechnung, z. B. zur Bildung aller Potenzen von 2, was bei der Ermittlung binärer Teilerverhältnisse benötigt wird: $2\times2\times2\times \ldots$ Ablauf: K einschalten, $/2/\times/-/-/-/- \ldots$

Man kann so auch Kehrwerte bilden, z. B. Kehrwert von 0,125: K einschalten $/0{,}125/\div/-/-$ ergibt 8. (Bei der ersten „—-Betätigung erscheint 1.) Quadratwurzeln lassen sich durch Näherung ermitteln. (Beispiele findet man u. a. in [9].)

7.6. Übergang auf *VQD 30*

Die moderne Anzeigeeinheit *VQD 30* kann statt der drei *VQC 32* auf der vorgegebenen Leiterplatte des Rechners montiert werden, wenn man die Änderungen nach Bild 7.16 beachtet. Das bedeutet also vor allem Einsparen der 8 Segmenttreibertransistoren und Wegfall von 8 Widerständen. Die Montage wird nach Bild 7.17 über Steigdrähte in der im Bild angegebenen Zuordnung vorgenommen.

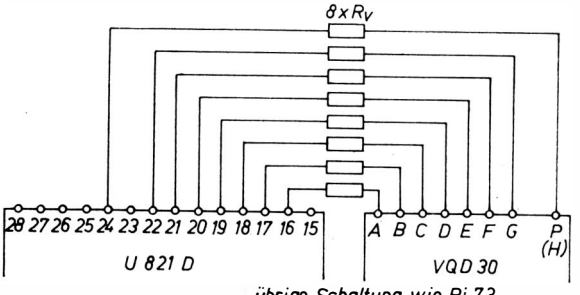


Bild 7.16 Einsatz einer *VQD 30* im Rechnerbaustein mit *U 821 D*: Segmenttreiber entfallen

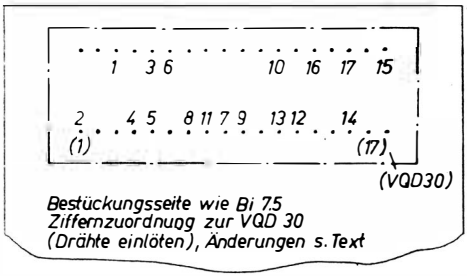


Bild 7.17 Montage der *VQD 30* über Steigdrähte (Zuordnung). Auf der Leiterplatte nach Bild 7.4 und Bild 7.5 entfallen jetzt 8×150-Ω-Widerstände und die ihnen zugeordneten 8 Transistoren; für die 15-kΩ-Widerstände sind jetzt R_V's einzusetzen (Richtwert nach Bild 7.16); die Lötaugen e—b der eingesparten 8 Transistoren sind jeweils zu verbinden

7.7. Anzeige durch *VQB 71* und *VQB 73*

Der Übergang auf eine größere Anzeige, z. B. für Tischrechner, Uhrenanwendungen usw., erfordert eine Umkehr der Ansteuerung

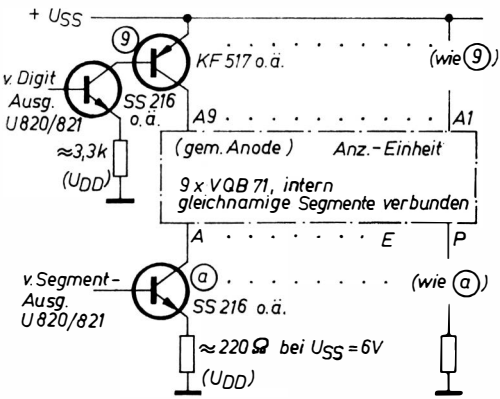


Bild 7.18 Ansteuern von *VQB 71* o. ä. größeren Ziffern mit gemeinsamer Anode

und auf jeden Fall wieder Segmenttreiber, auch mit dem *U 821 D*! Nach Bild 7.18 ist aber außerdem noch eine Komplementärstufe je Ziffer nötig, da die *VQB 71* mit ihren etwa 3,6 V Eigenbedarf für Ansteuerimpulse wenig Oberspannung übrigläßt. Außerdem müssen jetzt die Segmentwiderstände katodenseitig angeordnet werden und liegen damit ebenfalls im Strompfad der Digitalsteuerung. Man kommt aber trotz der zusätzlichen Transistoren weiterhin mit einem einzigen Ansteuerwiderstand je Stufe aus, wenn dieser jetzt in die Emitterleitung des npn-Transistors gelegt wird. All das bedingt einige Änderungen auf der Leiterplatte, die jedoch gut überschaubar bleiben. Infolge des größeren Strombedarfs der *VQB 71* (für das Vorzeichen wird eine *VQB 73* verwendet oder auch eine *VQB 71*) ist diese Schaltung aber ohnehin nur für rein stationären Betrieb aus einem Netzteil und in einem größeren Gehäuse sinnvoll.

8. Elektronische und elektromechanische Eingaben; Probleme der U 820-Organisation

8.1. Elektronische Eingaben

Der große zulässige Bereich des Widerstands zwischen Digit- und K-Anschlüssen für einwandfreie Eingabe gestattete nach Abschnitt 4. bereits den Einsatz von Leitgummi. Einen ähnlich endlichen Restwiderstand haben die Kollektor-Emitter-Strecken von Transistoren, wenn sie basisseitig angesteuert werden. Entsprechend Bild 8.1 gibt es 2 Möglichkeiten, den positiven Impuls aus einem angewählten Digitanschluß elektronisch in einen K-Eingang zu leiten: durch npn- oder durch pnp-Transistoren. Beide Arten gestatten Sensorsteuerung. Im Falle von npn-Transistoren (Bild 8.1a) liegt der Emitter am Punkt tiefsten Potentials, nämlich am K-Eingang. Gesteuert wird mit dem Digitimpuls vom Kollektor her. Diese Betriebsart hat den Nachteil, daß in einen hochohmigen Punkt hinein gesteuert wird. Praktische Versuche mit dieser zwar mit billigen Transistoren realisierbaren Variante brachten häufig den Effekt, daß beim Berühren des Sensors (Ausführungsbeispiel siehe weiter unten) zwar um eine Stelle weitergeschaltet, jedoch nicht die gewünschte Ziffer geschrieben wurde. Dafür erschien jeweils eine Null in der Anzeige dieser Stelle. Offenbar wurde die Mindestimpulsbreite für die Ziffernanzeige nicht erreicht. Als wesentlich günstiger erwies sich in dieser Hinsicht der Einsatz von pnp-Transistoren gemäß Bild 8.1b. Weitere Vorteile dieser Variante liegen in folgendem:

— Während beim npn-Transistor die Gegenelektrode jeweils an den entsprechenden Steuereingang zu legen ist, kann jetzt für alle Eingaben gemeinsam die Schaltungsmasse (also U_{DD}) benutzt

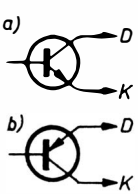


Bild 8.1
Die beiden Möglichkeiten, mit bipolaren Transistoren Digit- und K-Anschlüsse geschaltet zu verbinden;
a — npn-Transistor,
b — pnp-Transistor
(Germanium ungeeignet!)

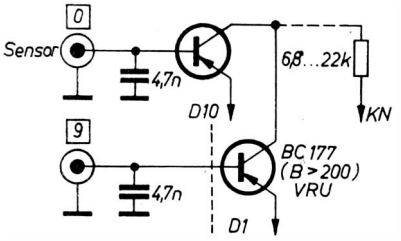


Bild 8.2
Sensortastenschaltung mit pnp-Transistoren (Teilschaltung Zifferneingabe 0 bis 9 in KN)

werden. Die Bedienfläche liegt damit ausschließlich auf diesem Potential. Gesteuert wird durch den Strompfad U_{SS} — Schaltung im Rechner — Digitausgang — Emitter — Basis — berührter (gebrückter) Sensor — U_{DD}.
Alle Schutzwiderstände (sonst vor der Basis) können je K-Eingang zu einem einzigen Emitterwiderstand zusammengefaßt werden.
Ein gewisser Nachteil dieser Variante liegt im Bedarf an pnp-Silizium-Transistoren mit einer Stromverstärkung von möglichst über 100. Gut bewährt haben sich ungarische *BC 177*, die 1978 billig im Elektronik-Versand Wermsdorf angeboten wurden. Je Basis war gegen Fremdfeldbeeinflussung ein keramischer Scheibenkondensator von 4,7 bis 10 nF erforderlich. Die Gesamtschaltung für eine solche Sensortastatur zeigt Bild 8.2. Ihre praktische Ausführung kann gemäß Bild 8.3 in Hohlnieten bestehen, die in die digitseitige Leiterplatte eingesetzt werden und durch Bohrungen in die isoliert darüber angebrachte Gegenplatte ragen. Sie schließen mit deren Massefläche (Kupferfolie möglichst durch einen galvanischen Überzug passivieren) bündig ab. Mit npn-

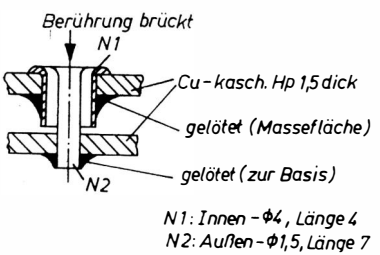
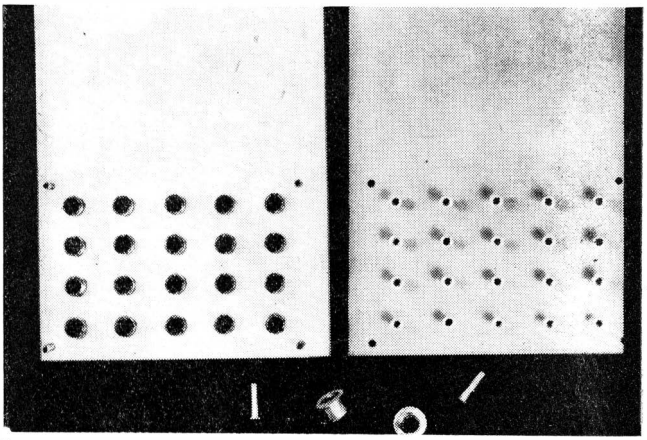
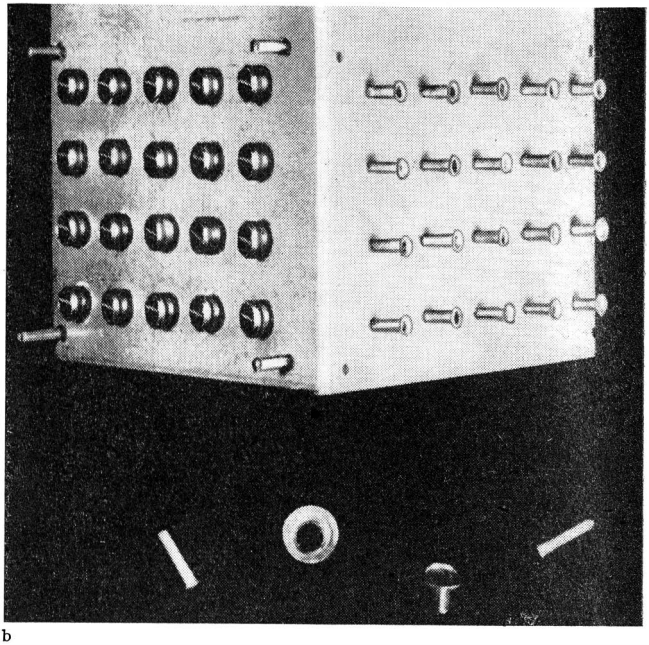


Bild 8.3
Sensortastenfeld, mit Hohlnieten in 2 Ebenen realisiert (Ausschnitt: 1 Sensor)



a



b

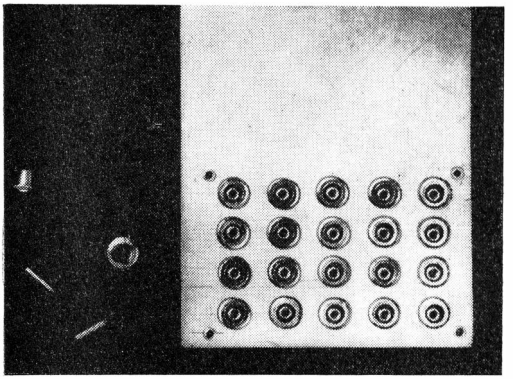


Bild 8.4 a bis c: Ansichten der Versuchsplatte entsprechend Bild 8.3

Transistoren nach Bild 8.1a oder auch ganz einfach zur Vereinfachung des Passivierungsproblems können sich in der Deckplatte entsprechend größere Hohlniete befinden (in Bild 8.3 bereits so dargestellt). Eine Versuchsplatte dieser Art zeigt Bild 8.4. Während die Sensorausgabe auf Grund der Kosten für sich allein mehr als eine Spielerei zu betrachten ist, stellt die Kollektor-Emitter-Strecke bipolarer, also auch mit niedrigen Steuer- und Betriebsspannungen noch zuverlässig arbeitender Transistoren eine günstige Steuermöglichkeit für automatische elektronische Eingaben dar. Dabei kommt der npn-Transistor für *high*-Steuerung von TTL-Schaltkreisen aus in Frage, während pnp-Transistoren mit *low* durchgeschaltet werden (Bild 8.5). Wieder ist dabei

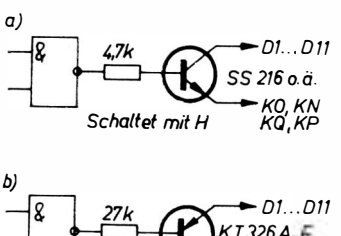


Bild 8.5
Ansteuern eines npn-Transistors mit H und eines pnp-Transistors mit L von TTL- oder CMOS-Gatter her

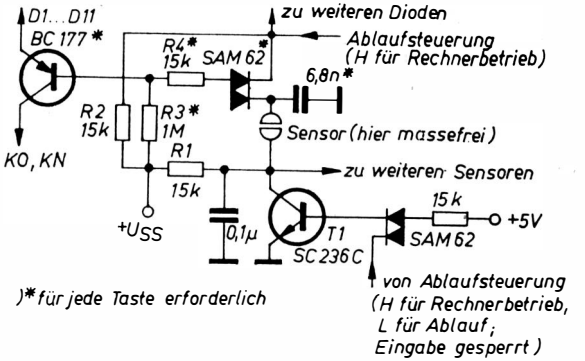


Bild 8.6 Automatische Sensorensperrung durch eine Ablaufsteuerung (H: Rechnerbetrieb, L: Ablaufsteuerung; Sensoren gesperrt)

dem pnp-Transistor der Vorzug zu geben, da er eindeutig nur für die Dauer des Digitimpulses leitend wird, während das beim npn-Transistor von Plus her für die von der TTL-Steuerung bestimmte Zeit der Fall ist. Daher besser ein (invertierendes) Gatter mehr einsetzen, wenn diese Eindeutigkeit gebraucht wird. Eine Kombination von handbetätigten und automatischen Eingaben legt eine eindeutige Sperrung der gerade nicht zugelassenen Eingabeart nahe. Dabei kommt der automatischen Eingabe der Vorrang zu. Zum Sperren einer modifizierten pnp-Sensor-Variante ist der Zusatz nach Bild 8.6 geeignet.

Der Transistor T1 schaltet dabei die Sensortasten für Rechnerbetrieb an Masse ($\triangleq U_{DD}$). Nach Starten des Ablaufs wird T1 gesperrt, und die Tasten liegen über $R1$ an $+ U_{SS}$, so daß keine Eingabe über die Tasten mehr möglich ist. Im Bild erkennt man den relativ großen Aufwand für einigermaßen sichere Eingaben (gekennzeichnete Bauelemente sind für jede Taste nötig!). $R4$ schützt die D-Ausgänge gegen Kurzschluß der Sensortasten, $R3$ leitet den Reststrom ab. D1 erweitert die Eingänge für die Ablaufsteuerung und ist z. B. nur bei „,", „1" „+", „−" erforderlich. $C1$ unterdrückt Störspannungen. Durch diese kann es sonst zu Mehrfacheingaben bei der gedrückten Taste kommen, aber auch zu echten Fehleingaben, d. h., der Rechner übernimmt an Stelle der gedrückten Ziffer eine Null. (Das bewirken zu schmale Steuerim-

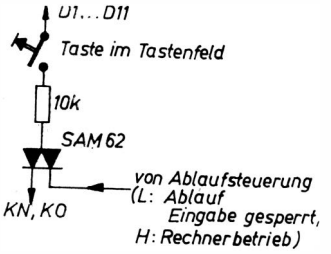


Bild 8.7
Einfache Eingabesperre für elektromechanische Tastenfelder

pulse, bei denen um eine Stelle weitergeschaltet wird, ohne daß der Schaltkreis die Ziffer annimmt.)
Eine solche Eingabesperre ist selbstverständlich sinngemäß auch für mechanische Tastenfelder und für elektromechanische Eingaben nicht nur möglich, sondern unbedingt zu empfehlen. Bild 8.7 zeigt eine einfache Anordnung zur Eingabesperre. Vom Tastenfeld gelangen die D-Impulse entsprechend der jeweils gedrückten Taste (D1 bis D11) über einen Widerstand von 10 kΩ und über die Doppeldiode an den K-Eingang, z. B. an KN (für den KO-Eingang ist die gleiche Anordnung erforderlich), sofern die zweite Katode der *SAM 62* auf H-Potential liegt. Während des Ablaufs führt diese jedoch L-Potential, und die D-Impulse werden nach Masse abgeleitet. Dabei schützt der Vorwiderstand die D-Ausgänge gegen Kurzschluß, und die Eingabe über die Tastatur bleibt gesperrt.

8.2. Elektromechanische Eingaben

Vom Aspekt einer störungsfreien Fernbedienmöglichkeit (gleichermaßen handbedient wie automatisch) gesehen, kommt der Eingabe über elektromechanische Schaltglieder große Bedeutung zu. Allerdings ist das keine sehr billige Möglichkeit. Man wird sie daher auf die unbedingt nötigen Funktionen beschränken, z. B. zu Start-Stopp-Zwecken u. ä. Darüber hinaus ist der elektromagnetisch betätigte Schaltkontakt oft das einzige sinnvolle Mittel, eine potentialgetrennte Signalübertragung von Digitalinformationen zu realisieren. Von der Ansprechzeit und auch von der Umweltunabhängigkeit her gesehen ist der *Reed*- oder Schutzgaskontakt der günstigste. Schaltfrequenzen bis 400 Hz sind

realisierbar, also weit mehr als von der erforderlichen Eingabezeit her notwendig.
Die relativ kleine Ansprecherregung der *RGK-20*-Schutzrohrkontakte gestattet gute Anpassung der Wicklung an unterschiedliche Betriebsspannungen bei „tragbaren" Strömen (Größenordnung für 6 V: 25 mA). Aber auch Kleinrelais vom Typ *GBR 111* (u. a. für 6 und 12 V erhältlich) mit Schutzgasatmosphäre sind gut geeignet, wenn auch nicht gerade billig. Gegenüber Schutzrohrkontakten, die allenfalls mit einem außen angebrachten Magneten oder durch eine zweite Wicklung (Gegenfeld) als Öffner eingesetzt werden können, wenn das für bestimmte Zwecke nötig ist, haben sie 2 Umschalter. Damit sind mehrere Schaltmöglichkeiten gegeben.

8.3. Eingabebedingungen

Im folgenden sollen die in Abschnitt 4. nur angedeuteten Zeitbedingungen etwas näher betrachtet werden, denn daraus ergeben sich sowohl für die Wahl der Taktfrequenz in bestimmten Einsatzfällen wie für die Auslegung von Ablaufsteuerungen selbst wichtige Schlußfolgerungen. Ihre optimale Berücksichtigung ist u. a. Voraussetzung für die Realisierung einer Stoppuhr mit 0,1-s-Schritten, wie sie in Abschnitt 12. behandelt wird.
Jede Eingabe unterteilt sich in Kontaktschließzeit und Pausenzeit. Die Kontaktschließzeit ist die Zeit, die ein Digit-Impuls (D-Impuls) von einem der Ausgänge D1 bis D11 an einem der K-Eingänge anliegen muß, um als Eingabe erkannt zu werden. Die Pausenzeit ist die Zeit zur Trennung zweier Eingaben. Aus den Herstellerangaben sind nur die Kontaktschließzeiten zu entnehmen. Da jedoch der gesamte innere Ablauf im Rechner getaktet wird, liegt es nahe, die genannten Zeiten in Abhängigkeit von der Periodendauer der D-Impulse zu ermitteln. Um keine Zeit zu verschenken, zumindest nicht für die Eingaben bei der Ablaufsteuerung, ist es danach erforderlich, daß jede Eingabe 12 D-Takte lang anliegt. Für die Pausen zwischen den einzelnen Ziffern- und Kommaeingaben genügen 3 D-Takte, während vor der Eingabe der Operationen „+" und „−" eine Pause von 4 D-Takten einzuhalten ist. Insgesamt sind also für jede Ziffernеingabe mindestens 15 D-Takte, für jede Operationseingabe

(+, −) 16 D-Takte erforderlich. Weitere Aussagen über den internen Ablauf findet man in [1]. Unter anderem wird dort die Verknüpfung zwischen dem Eingangstakt C_p mit seiner Periodendauer t_1 und den D-Takten genannt: $t_D = t_1/429$. Mit dieser Angabe und den Katalogwerten zu t_{1min} lassen sich nun Zeitangaben für eine Ziffern- oder Kommaeingabe bzw. für eine Operationseingabe (+, −) machen:

$t_0 = 16 \cdot 429 \cdot t_1$;

$t_Z = 15 \cdot 429 \cdot t_1$; mit $t_1 \geq 3\ \mu s$ für *U 820 D* und $t_1 \geq 3{,}7\ \mu s$ für *U 821 D*;

also $t_{Z(820)} \geq 19{,}3$ ms, $t_{0(820)} \geq 20{,}6$ ms

$t_{Z(821)} \geq 23{,}8$ ms, $t_{0(821)} \geq 25{,}4$ ms.

Zur Realisierung einer Stoppuhr mit 0,1-s-Schritten ist die periodische Eingabe von /,/1/+/ erforderlich. Davon entfallen beim *U 820 D* auf die ersten 2 Eingaben 31 D-Takte bzw. 39,9 ms. 12 weitere D-Takte werden für die Erkennung der Operationseingabe „+" benötigt, so daß bis zum Beginn der Berechnung bereits 43 D-Takte bzw. 55,3 ms vergangen sind, also bereits mehr als die Hälfte der zur Verfügung stehenden Zeit von 100 ms für einen vollständigen Eingabe- und Rechenzyklus. Von den maximal möglichen 77,7 D-Takten innerhalb der 100 ms entfallen also auf:

Eingabe:	Komma	12 D-Takte
	Pause	3 D-Takte
Eingabe:	Ziffer 1	12 D-Takte
	Pause	4 D-Takte
Eingabe:	Operation	„+" bzw. „−" 12 D-Takte
Berechnung:		34,7 D-Takte

Das Ende der Berechnung zeigt der Rechner leider nicht an. So bleibt nur die praktische Erprobung, ob die verbleibende Zeit von 44,7 ms bzw. etwa 35 D-Takte für die Rechnung noch ausreicht.

Zur praktischen Realisierung von Ablaufsteuerungen ergibt sich folgendes: Die soeben ermittelten D-Takte für einen kompletten Zyklus lassen sich mit geringem Aufwand entsprechend aufteilen. Zunächst werden die D-Takte mit einem auf die Teilung 15 umschaltbaren 16-Teiler geteilt. Durch eine einfache Verknüpfung der Ausgänge ergibt sich das benötigte Kontaktschließzeit-Pausenverhältnis von 12 : 3 bzw. 12 : 4 D-Takten. Ein nachgeschalteter 5-Teiler liefert mit Hilfe einer Logik die einzelnen Ansteuerimpulse für die automatischen Tasteingaben und schaltet den

15-Teiler z. B. einfach während der ersten beiden Eingaben auf 16 um (1. und 2. Pause mit 4 D-Takten). Ein Zyklus umfaßt demnach $3 \cdot 15 + 2 \cdot 16 = 77$ D-Takte.

Als ansteuernder D-Takt bietet sich der zeitlich erste an, nämlich der D11-Takt vom gleichnamigen Ausgang, da er außerdem für die Negativ-Auswertung benötigt wird (Signalisierung des Zählbereichsendes beim Rückwärtszählen). Für die Berechnung und für die sich automatisch anschließende Festkommaeinstellung abzüglich der Pause am Zyklusende stehen also noch $77 - 43 - 3 = 31$ D-Takte $\triangleq$ 39,9 ms zur Verfügung. Wie die praktische Erprobung zeigt, reicht diese Zeit für die einfachen Berechnungen, wie sie beim Vor- und Rückwärtszählen beliebiger Zahlen auftreten, vollständig aus. Beim *U 821 D* liegen die Verhältnisse etwas anders. Nach neueren Unterlagen garantiert der Hersteller nur noch eine minimale Periodendauer für die Ansteuerung von $t_1 \geq 3{,}7\ \mu s$, das sind maximal 63 D-Takte je Eingabe- und Rechenzyklus. Abgesehen von dem dazu erforderlichen höheren Steuerungsaufwand verbleiben nur noch $63 - 43 - 3 = 17$ D-Takte für die Berechnung. Dieser niedrige Wert reicht nicht aus. Als Alternativlösung kann der Amateur Einzelexemplare des *U 821 D* für solche Anwendungen wie den *U 820 D* einsetzen, mit Betriebswerten oberhalb der garantierten Grenzfrequenz. Notfalls muß man also einen geeigneten Schaltkreis aussuchen. Ist das nicht möglich, dann bleibt nur noch das Verdoppeln der Zeiten, d. h. die Änderung auf 0,2-s-Schritte (siehe auch Abschnitt 9.1.).

Voraussetzung für diese Ablaufsteuerungen ist selbstverständlich die Ansteuerung des Schaltkreises aus einem getrennten Oszillator, dessen Frequenzstabilität die Zeitdauer der einzelnen Zyklen und damit die Genauigkeit der Zeitbestimmung beeinflußt. Bei 77-D-Takten je Zyklus und damit 770 D-Takten je Sekunde muß der Oszillator auf eine Frequenz von $f_{Osz.} = 770 \cdot 429 = 330{,}33$ kHz eingestellt werden.

Aus der Abhängigkeit der Oszillatorfrequenz von der rechnerinternen Teilung von 429 : 1 erkennt man auch, daß eine Oszillatorschaltung auf Quarzbasis nur mit speziell geschliffenen Quarzen erreichbar ist. Zwar läßt sich durch aufwendigere Ansteuerschaltungen die Anzahl der D-Takte je Sekunde prinzipiell in gewissen Grenzen variieren, jedoch bringt auch diese Maßnahme kaum Oszillatorfrequenzen für handelsübliche und damit billige Quarze.

Eine interessante Möglichkeit bietet allerdings die Wahl von 777 D-Takten, denn sie führt zu $f_{\text{Osz.}} = 333{,}333$ kHz, einer Frequenz, die sich aus einem 1-MHz-Quarz durch einen einfachen 3-Teiler ableiten läßt.

777 D-Takte erreicht man durch einen zusätzlichen 10-Teiler, der mit Hilfe einer geeigneten Verknüpfung während 7 Zyklen den 15-Teiler für eine weitere Eingabe auf 16 umschaltet, d. h. von $3 \cdot 15 + 2 \cdot 16 = 77$ auf $2 \cdot 15 + 3 \cdot 16 = 78$ D-Takte. Die restlichen 3 Zyklen bleiben unverändert. Man erhält so $7 \cdot 78 + 3 \cdot 77 = 777$ D-Takte für 10 Zyklen $\triangleq$ 1 s.

9. Einfache Ablaufsteuerungen

Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus Abschnitt 8.3. sollen zunächst 2 einfache Ablaufsteuerungen vorgestellt werden, die keinen gesonderten und sehr genauen Taktgenerator voraussetzen.

9.1. Ablaufsteuerungen für Ereigniszähler

Die Ablaufsteuerung nach Bild 9.1 verarbeitet in Verbindung mit einer Stromversorgungs- und Taktgeneratoreinheit gemäß Abschnitt 7. bis zu 5 Zählimpulse je Sekunde. Die aus 2 Monoflop und einem RS-Flip-Flop bestehende Ablaufsteuerung mit TTL-Gattern schaltet bei jeder Betätigung der Eingabe (z. B. Mikrotaster) zunächst die Ziffer 1 und dann die Operation „+". An den Eingang kann selbstverständlich statt des Umschalters (der wegen des entprellenden Flip-Flop auch prellen darf) auch jedes andere, auf TTL-Pegel aufbereitete Ereignissignal angelegt werden.

Die Schaltbefehle werden npn-Transistoren zugeführt, die zwischen den zu verbindenden Kontakten liegen, also in diesem Fall zunächst KN mit 1 und danach KO mit „+" verbinden. Das Umschalten auf „−" erlaubt Rückwärtszählen von einem vorher eingegebenen und gemäß Organisation des *U 820 D* mit „+" abzuschließenden (dadurch in den Arbeitsspeicher übernommenen) Wert mit bis zu 8 Stellen. Die Transistoren liegen mit ihrem Emitter an den Eingängen KN und KO, da diese gegenüber der negativen Betriebsspannung (Schaltkreisspannung U_{DD}) den geringsten Potentialunterschied aufweisen. Beim Schalten wird daher der vom Digitausgang gegen U_{DD} positive Steuerimpuls über den von der Ablaufsteuerung kurzzeitig geöffneten Transistor zum Eingang KN bzw. KO durchgeschaltet. Vor jeder neuen Aufgabe ist unbedingt C zu betätigen.

Die beschriebene Monoflop-Kombination arbeitet zwangsläufig stets bis zum Zyklusende, auch wenn vorher (z. B. im Einsatzfall „Stoppuhr" mit 0,2-s-Taktgenerator am Eingang) der Taktgenerator bereits angehalten wird. Bei dem Beispiel nach Bild 9.2, konzi-

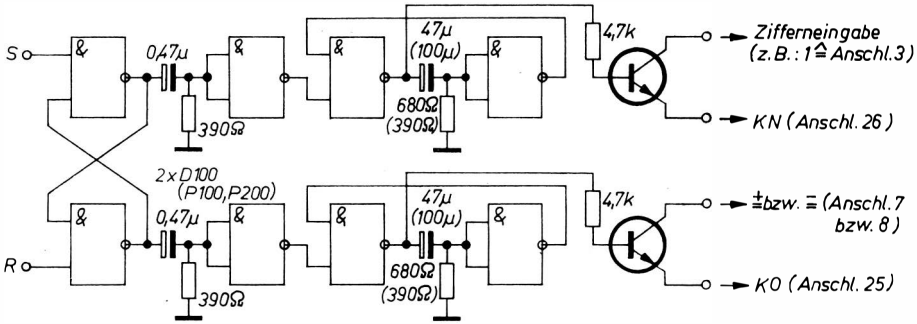


Bild 9.1 Monoflop-Ablaufsteuerung für „asynchronen" Ereigniszähler (mit freilaufendem Taktgenerator); maximal 5 Pulse je Sekunde

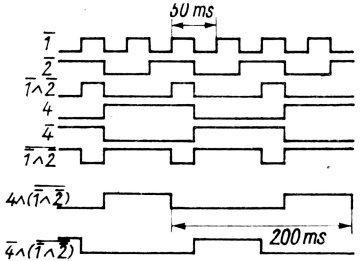
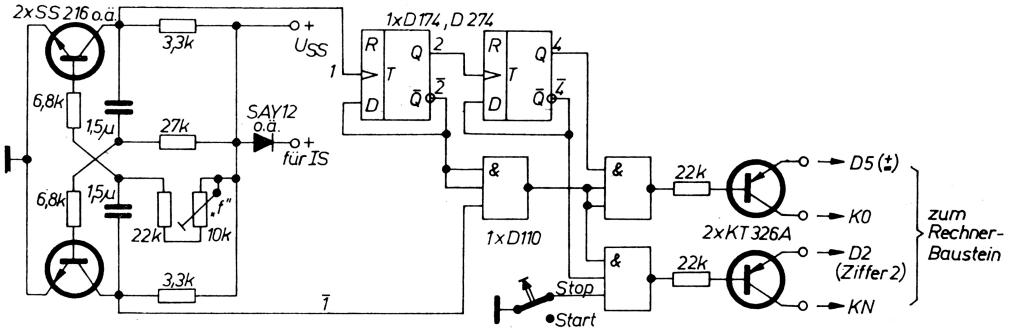


Bild 9.2 Ablaufsteuerung mit 2fach-D-Flip-Flop und mit Taktgenerator für Zeitgeber oder Stoppuhr mit 0,2-s-Takt; Anzeige in Zehntelsekunden;
a — Stromlaufplan, b — Impulsplan. Öffnet man die Verbindung der beiden zusammengelegten Eingänge an den Treibergattern, so ergibt sich eine zusätzliche Steuermöglichkeit auch bei durchlaufendem Generator



piert auch u. a. für Stoppuhrzwecke, war das zunächst unmittelbar nicht möglich. Wird der Generator gerade angehalten, wenn sich eine 2 in der Anzeige befindet (Stoppuhr mit 0,2-s-Takt), so muß noch „+“ gedrückt werden, um den gerade erreichten Wert ablesen zu können. Der Einsatz eines 2fach-D-Flip-Flop gegenüber der Monoflop-Kombination nach Bild 9.1 vereinfacht aber die Ablaufsteuerung bezüglich des Bauelementeaufwands, wie auch die Leiterplatte nach Bild 9.3 beweist. Da bei dieser Schaltung (wenn die beiden an sich freien Gattereingänge der Treiberstufen herausgeführt und gemeinsam an einen Steuereingang gelegt werden) durch *low* an diesen Eingängen eine zusätzliche Start-Stopp-Funktion realisiert werden kann, ergab sich schließlich durch die im Bild bereits eingezeichnete Start-Stopp-Taste am unteren Gatter der gleiche vollständige Ablauf bis zum abschließenden „+“. Der Generator wird dabei nicht abgeschaltet.

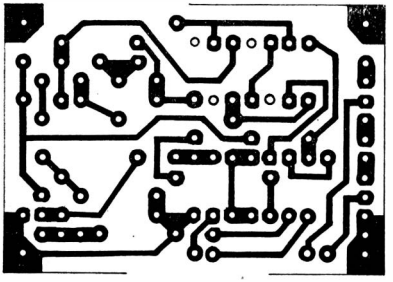


Bild 9.3 Leiterbild der Ablaufsteuerung nach Bild 9.2

9.2. Rechnersynchrone Ablaufsteuerungen

Voraussetzung zur zeitoptimalen Eingabe sind, wie schon aus Abschnitt 8.3. hervorgeht, rechnersynchrone Ablaufsteuerungen. Entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 8.3. kann man diese so auslegen, daß Zeitzugaben nur noch für den Ablauf der Berechnungen erforderlich sind. Neben den Forderungen nach hoher Verarbeitungsgeschwindigkeit sollte die Ablaufsteuerung aber noch weitere Bedingungen erfüllen. In den meisten Fällen wird sie im Rechner neben seiner Hauptfunktion (eben als handbetätigter Rechner) eingesetzt, auch wenn sie Priorität gegenüber der Tasteneingabe hat (Eingabesperre vorausgesetzt). Für batteriebetriebene Geräte, was besonders für eine elektronische Stoppuhr zutrifft, empfiehlt es sich also, Ablaufsteuerungen mit möglichst wenig Schaltkreisen aufzubauen und dabei außerdem möglichst stromsparende Schaltkreise vorzusehen. Automatische Abschaltung der zum Starten des Ablaufs nicht benötigten Schaltkreise von der Batteriespannung spart dabei nicht nur Schalter ein, sondern sichert auch die ständige Bereitschaft bei sparsamem Batterieverbrauch. Es ist selbstverständlich, daß am Ende des Ablaufs die Anzeige hellgesteuert wird, wobei nach der Stopp-Eingabe noch bis zum Zyklusende, d. h. bis zum Ergebnis, abzuarbeiten ist. Für die laufende Kontrolle aller Zwischenergebnisse zur Verfolgung des Zählvorgangs kann am Ende jeder Berechnung sogar bis in die nächste Eingabe hinein hellgetastet werden,

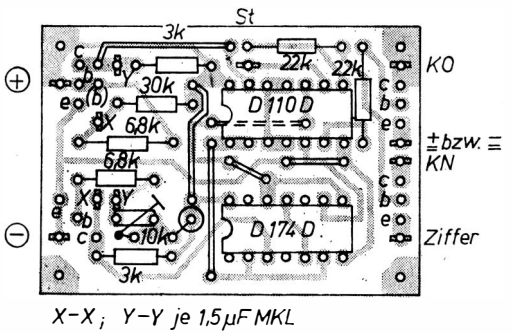


Bild 9.4 Bestückungsplan für Bild 9.3

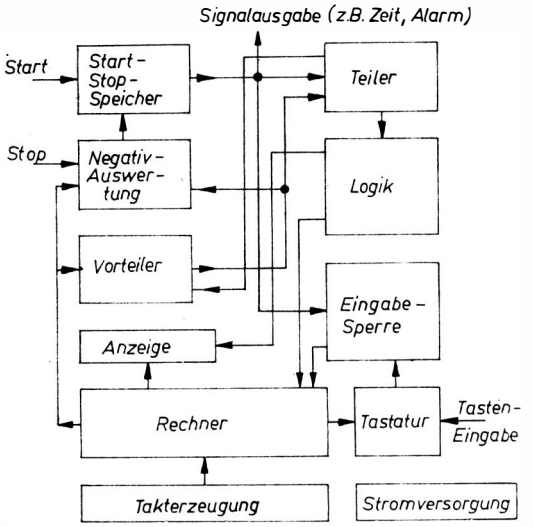


Bild 9.5 Rechnersynchrone Ablaufsteuerung: Übersichtsschaltplan

während der gesamte weitere Ablauf dunkel bleiben muß. Dabei ist ein Kompromiß zu schließen zwischen erreichbarer Helligkeit, optimaler Hellsteuerung durch Nutzung vorhandener Signale und geringster Störung auf Grund des Mitleuchtens von Segmenten, die nicht zum jeweiligen Ergebnis gehören.

Die gesamte Ablaufsteuerung läßt sich in verschiedene Funktionsgruppen aufteilen, deren Zusammenspiel aus Bild 9.5 hervorgeht. Eingeschaltet wird der Ablauf über den Start-Stopp-Speicher. Dabei gelangt die Startinformation sofort an die angeschlossenen Funktionsgruppen. Sie sperrt die Eingabe über die Tastatur und gibt die Teiler frei. Der Vorteiler bereitet die Digitimpulse vom Rechner in die Eingaberoutine auf, mit jeweils 12 D-Takten Kontaktzeit und 3 bis 4 D-Takten Pause. Von dort wird der Teiler angesteuert. Sein Teilerumfang richtet sich nach dem geforderten Eingabe- und Rechenablauf. Die nachgeschaltete Logik verknüpft die Teiler- und Vorteilerausgänge zu den Eingabeimpulsen, die in der gewünschten Reihenfolge die entsprechenden Eingaben am Rechner ausführen. Zusätzlich liefert die Logik noch die Dunkelsteuerimpulse für die Anzeige und die Impulse für die

Stoppfreigabe an die Negativ-Auswertung. Diese steuert den Start-Stopp-Speicher, so daß jede Stopp-Eingabe zunächst erst die Freigabe am Ende der Berechnung abwarten muß, ehe der Ablauf gestoppt wird. Die Tastendruckzeit für Stopp darf also im ungünstigsten Fall die Zeit von 100 ms nicht unterschreiten. Die Negativ-Auswertung gestattet daneben auch die Stopp-Auslösung bei angesteuertem Minuszeichen. Um nicht jedes Aufleuchten der Negativ-Anzeige während der Berechnung in eine Stopp-Information umzusetzen, wird die Auswertung mit Hilfe der Logik erst am Ende der Berechnung durchgeführt. Über die Negativ-Auswertung läßt sich die Ablaufsteuerung als Zeitgeber einsetzen. Das ist die einfachste Art der Auswertung. Es stört dabei nicht, daß der Rechner erst entsprechend seiner Auflösung z. B. bei — 0,1 stehenbleibt. Für die nachfolgende Eingabe ergibt sich kein Fehler, wenn diese Anzeige vorher nicht gelöscht wird. Drücken der Taste „+" nach der Eingabe bewirkt dabei automatisch die Korrektur der Eingabe um — 0,1 d. h., der Ausgangswert für den Ablauf ist um 0,1 kleiner als der Eingabewert. Da bis — 0,1 gezählt wird, ergibt sich kein Zeitfehler. Löscht man dagegen die Anzeige vor der Eingabe, so ergibt sich ein positiver Fehler entsprechend der Auflösung von 0,1 s. Wünscht man die genaue Zeitgabe bereits bei der ersten Eingabe, so drückt man C und anschließend die Starttaste. In der Anzeige erscheint jetzt der erforderliche Korrekturwert von — 0,1 für die anschließende Zeiteingabe.

Während die Fehler z. B. für eine Belichtungsuhr also nur noch von der Genauigkeit des externen Taktes abzuhängen brauchen, tritt beim Betrieb als Stoppuhr ein zusätzlicher, positiver Fehler entsprechend der Auflösung auf, d. h., die 0,1-s-Stoppuhr zeigt maximal 0,1 s zuviel an. Das ist auch verständlich, da die Starteingabe sofort, die Stoppauslösung dagegen erst nach beendeter Berechnung erfolgt. Das bedeutet: Jeder angefangene 0,1-s-Zählschritt wird beendet, und die Anzeige wird nach Stoppauslösung auf jede angebrochene $^1/_{10}$ Sekunde aufgerundet. Im Mittel zeigt die Stoppuhr also 0,05 s zuviel an.

Ein zusätzlicher dekadischer Zähler, sinnvoll an den Vorteiler angeschlossen, könnte die Auflösung auf 0,01 s steigern. Innerhalb der Ablaufsteuerung muß man dann die 1. Zählung nach dem Start unterdrücken. Nach der Stopp-Auslösung müßte der Zählerstand des dekadischen Zählers auf elektronischem Weg mit

einer weiteren Ablaufsteuerung zum Anzeigewert addiert werden. Eine solche Variante wurde jedoch nicht praktisch erprobt. Während bisher nur zeitgenaue Ablaufsteuerungen im Vordergrund standen, ist für den Einsatz als allgemeiner Vor-Rückwärts-Zähler die höchste Verarbeitungsgeschwindigkeit anzustreben, d. h., der gesamte Ablauf muß sich auf die fortlaufende Addition bzw. Subtraktion von 1 reduzieren. Dabei läßt sich selbstverständlich auch die Zählung von kleineren Werten, z. B. 0,1, realisieren, wenn man die Kommaanzeige zwangssteuert. Dabei wird Segment H nicht vom Rechner über Anschluß 24, sondern über den Digitausgang D2 angesteuert. Das setzt natürlich voraus, daß der Rechner so nicht anderweitig betrieben wird. Weiterhin ist für die höchste Zählgeschwindigkeit die höchste Taktfrequenz einzustellen und eventuell auch eine geringere Rechenzeit zu ermitteln (vergleiche auch Abschnitt 8.3.). Normalerweise kann man dabei auf Werte von 70 ms je Zählschritt und 70 s für die Anzeige von vollen 3 Dekaden kommen. Exemplarabhängig läßt sich aber die Taktfrequenz auf über den doppelten Wert erhöhen (*U 820 D*), so daß in diesen Fällen auch Werte unter 35 s für 3 Dekaden erreichbar sind.

Das entspricht dann der kürzesten Einstellzeit, die sich mit einfachen Schaltungen für eine 3stellige digitale Anzeige überhaupt erreichen läßt.

Diese zeitschnelle Ablaufsteuerung erfordert für die wechselnde Zählrichtung einen Zählrichtungsspeicher mit Verriegelung der jeweils anderen Richtung und Rückstellung durch Freigabe am Ende jedes Zählzyklusses. Eine solche Anordnung wird in Abschnitt 13. benutzt. Die Zählrichtung steuert man dabei durch einen Komparator über die TTL-Anpassung. Die positiven bzw. negativen Ausgangswerte des Komparators entsprechen den beiden Zählrichtungen, wobei im Bereich um den Nullpunkt nicht gezählt wird. Man nutzt das mit einer geeigneten Gegenkopplung am Komparator zur Beendigung des Zählvorgangs, wenn der stationäre Wert erreicht ist.

Der nachgeschaltete 4-Teiler mit der angeschlossenen Logik liefert die Steuerimpulse für die Eingaben 1, + bzw. 1, —, außerdem die Dunkelsteuerimpulse für die Zeit der Berechnung und die Umschaltung des Vorteilers zur Verkürzung der Rechenzeit.

10. Taktgeber für Ablaufsteuerungen

Der Aufwand für einen Taktgeber, z. B. zum periodischen Vor- oder Rückwärtszählen mit dem *U 820 D*, hängt von der gewünschten Genauigkeit ab. Für Anwendungen im Minutenbereich ist der Zeitfehler von geringerer Bedeutung (z. B. „Eieruhr" u. ä., anders dagegen schon Belichtungsuhr!) als für Langzeitbetrieb (Wecker für den nächsten Morgen u. a.).

10.1. Sekunden-Taktgeber für geringe Genauigkeitsansprüche

Für orientierende Versuche ist der anspruchslose Taktgenerator nach Bild 10.1 schnell aufgebaut und nach dem Sekundenzeiger einer Uhr ebenfalls rasch eingestellt. Man kann sogar die Rechneranzeige selbst dafür verwenden („Stoppuhrbetrieb zur Eigenmessung"). Mit einem 1poligen Schalter wird gestartet. Er öffnet den Kurzschluß im Basiskreis des Transistors, dessen Kollektor mit dem S-Eingang, z. B. der Ablaufsteuerung nach Bild 9.1 verbunden wird. Bild 10.2 zeigt ein Leiterbild für diesen Taktgenerator (Bestückung nach Bild 10.3).

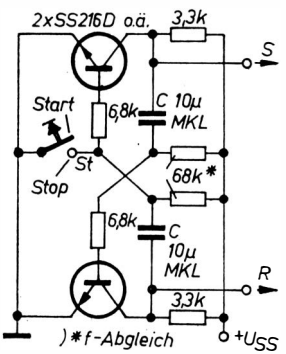


Bild 10.1
Sekunden-Taktgeber für geringe Genauigkeitsansprüche

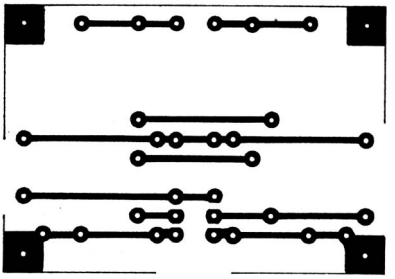


Bild 10.2 Leiterbild für den Taktgenerator nach Bild 10.1 (geeignet für Streifenleiterplatte)

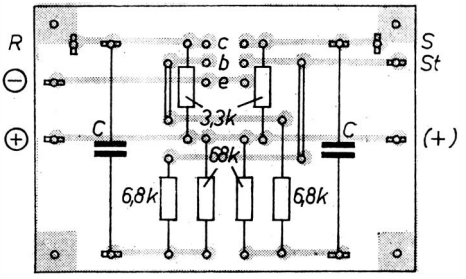


Bild 10.3 Bestückungsplan zu 10.2. Im Unterschied zu Bild 10.1 liegt die Starttaste direkt an der Basis!

10.2. 0,2-s-Generator

In der Ablaufsteuerung nach Bild 9.2 wurde dieser Generator bereits vorgestellt. Im Gegensatz zum Generator in Bild 10.1 wird er für Bild 9.2 nicht mit gestoppt, sondern erst mit der Betriebsspannung abgeschaltet.

10.3. Ableiten des 0,2-s-Takts aus der Netzfrequenz

Damit ist die (leider nicht sehr stabile) Frequenz des Lichtnetzes von 50 Hz gemeint; angeschlossen wird an die Niederspannungs-

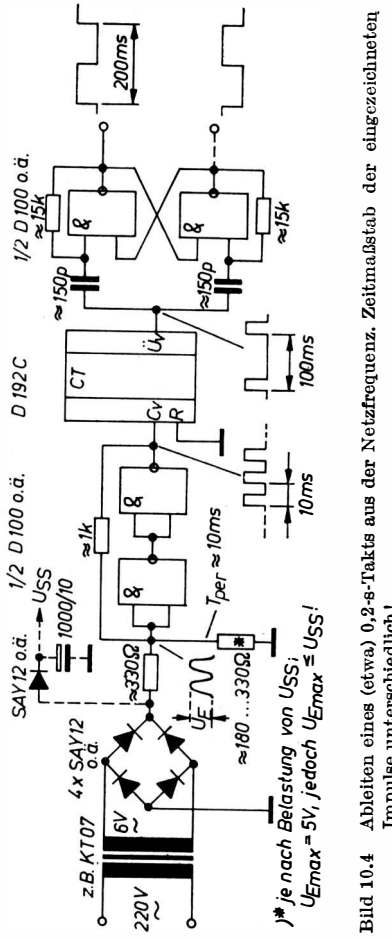


Bild 10.4 Ableiten eines (etwa) 0,2-s-Takts aus der Netzfrequenz. Zeitmaßstab der eingezeichneten Impulse unterschiedlich!

seite des für das Gesamtgerät erforderlichen Transformators (Dauerbetrieb).

Nach Bild 10.4 gewinnt man zunächst über einen Brücken-Gleichrichter aus der Sekundärspannung 100-Hz-Halbwellen, die den aus 2 Gattern gebildeten Schwellwertschalter periodisch auf H

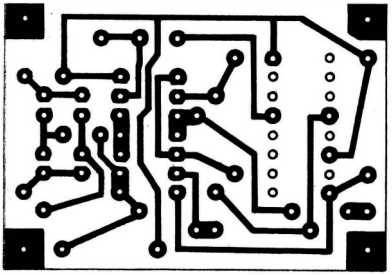


Bild 10.5 Leiterbild für einen Teiler von Netzfrequenz auf 0,2 Hz mit symmetrischem Rechteckausgang (ohne Stromversorgungszusatz, daher genügen *SAY 30* zur Dopplung der Eingangsfrequenz — (vergleiche Bild 10.6); Speisung aus *KT 07* o. ä.

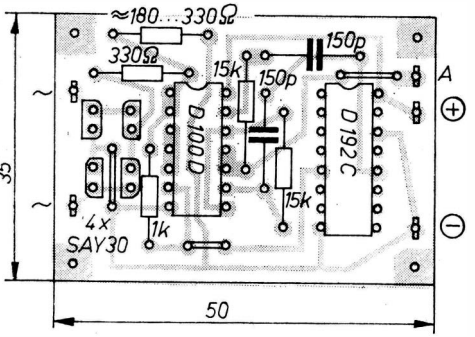


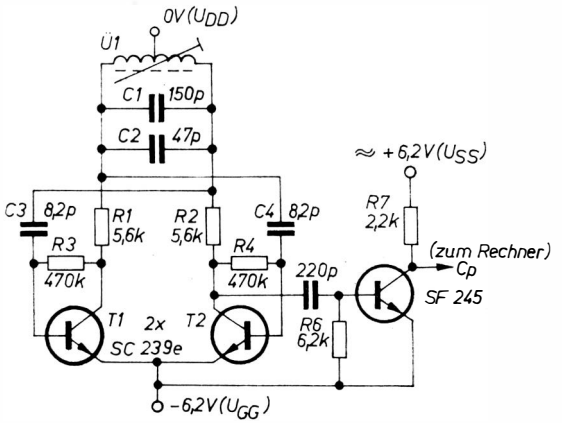
Bild 10.6 Bestückungsplan zu Bild 10.5

am Ausgang schalten. Diese Impulsfolge wird in einem Dekadenzähler verarbeitet, der am Ausgang für 20% der neuen Periodendauer (also 20 ms, da Frequenz 10 Hz) ein H ausgibt. Mit ihm wird ein Flip-Flop angesteuert, an dessen Ausgang nicht nur die gewünschte Frequenz von 5 Hz (also 0,2 s Periodendauer) erscheint, sondern außerdem noch ein Puls-Pause-Verhältnis von 1. Somit stehen gut verwendbare 100-ms-Steuerimpulse im Abstand von 100 ms zur Verfügung. Man bedenke jedoch, daß schon eine Netzfrequenz von nur 49,8 Hz statt 50 Hz in 24 Stunden einen Zeitfehler von fast 6 min ergibt!

10.4. LC-Oszillator für frequenzstarre Kopplung von Rechner- und Steuertakt

Entsprechend den erhöhten Anforderungen an eine Oszillatorschaltung zur Taktsteuerung des Rechners im Zusammenspiel mit Ablaufsteuerungen nach Abschnitt 9.2. kommen nur solche Schaltungen in Frage, bei denen die Frequenzstabilität mit guter Näherung nur vom eingesetzten *LC*-Kreis abhängt. Änderungen der Versorgungsspannung, Streuungen der Transistorparameter sowie Laständerungen sollen nur geringfügig die eingestellte Frequenz beeinflussen.

Diese Forderungen lassen sich am besten durch lose Ankopplung des Verstärkers an den Schwingkreis erreichen. Sehr lose Ankopplung setzt jedoch genügend hohe Verstärkung des Verstärkers voraus. Eine 1stufige Ausführung wird dabei kaum den gewünschten Erfolg bringen. Für den vorliegenden Einsatzfall wurde deshalb der Gegentaktoszillator nach Bild 10.7 aufgebaut. Die beiden Kollektorwiderstände $R1$, $R2$ bilden gleichzeitig den Arbeitswiderstand für die Auskopplung der Oszillatorfrequenz und entkoppeln die Transistoren kollektorseitig vom Schwingkreis. Außerdem



Ü1: Schalenkern 14x8 ; Mf 163; A_L=100
Draht HFL 15x0,05 99(2x49,5) Wdg

Bild 10.7 *LC*-Gegentaktoszillator für Rechnertakt höherer Frequenzstabilität

sichern sie mit den beiden Basisvorwiderständen $R3$, $R4$ die Arbeitspunkteinstellung der Transistoren T1, T2. Die Mitkopplung wird über die Kondensatoren $C3$, $C4$ erreicht. Beide Kondensatoren sind zur basisseitigen Entkopplung vom Schwingkreis hinreichend klein gegen dessen Kreiskapazitäten $C1$, $C2$ dimensioniert. Durch diese Anordnung erhält man am Schwingkreis sinusförmige Spannungen mit sehr kleinem Klirrfaktor, während an den Kollektoranschlüssen bereits eine trapezförmige Spannung auftritt, die mit dem 1stufigen Verstärker T3 auf die zur Ansteuerung des Rechnerschaltkreises erforderliche Spannung verstärkt wird.

10.5. Quarzgeneratoren

Übliche TTL-Quarzgeneratoren bekannter Schaltung lassen sich zum Ableiten sowohl des Rechnertakts wie von genauen Ablaufsteuerungstakten einsetzen. Die verfügbaren Quarze bestimmen dabei das Teilerverhältnis.

Eine in Verbindung mit ortsunabhängigem Betrieb interessante Variante wurde mit CMOS-Schaltkreisen realisiert, die bekanntlich einen extrem kleinen Energiebedarf haben. Sie leitet aus einem handelsüblichen 200-kHz-Quarz zunächst eine Frequenz von 50 Hz ab (Bild 10.8). Im Sinne der oben geschilderten Verhältnisse ist es jedoch zweckmäßiger, bereits einen Ausgang vorher abzugreifen. Die dort verfügbaren 100 Hz werden ähnlich verarbeitet wie im vorigen Beispiel, nur jetzt mit einem Dekadenzähler und einem Flip-Flop in CMOS-Technik. CMOS-Schaltkreise werden gegenwärtig (Manuskriptzeitpunkt) in der DDR nicht gefertigt. Den Industriebedarf decken Importe aus der UdSSR. Damit ist nicht ausgeschlossen, daß der Amateur früher oder später ebenfalls mit diesen interessanten Bauelementen arbeiten kann. Als 21stufiger Binärteiler stand dagegen 1979 in größeren Mengen der Uhrenschaltkreis *D 921* zur Verfügung. Gegenüber dem nur in kleinen Stückzahlen angebotenen *D 920* erfordert dieser bipolare Schaltkreis einen externen Quarzgenerator. Da am Ausgang des Teilers nur 1-Hz-Impulse erscheinen (vorgegebene Quarzfrequenz 32,768 kHz, also Spezial-Uhrenquarz nötig), ist dieser Taktgeber im Sinne der vorliegenden Broschüre hauptsächlich für Langzeitgeber geeignet.

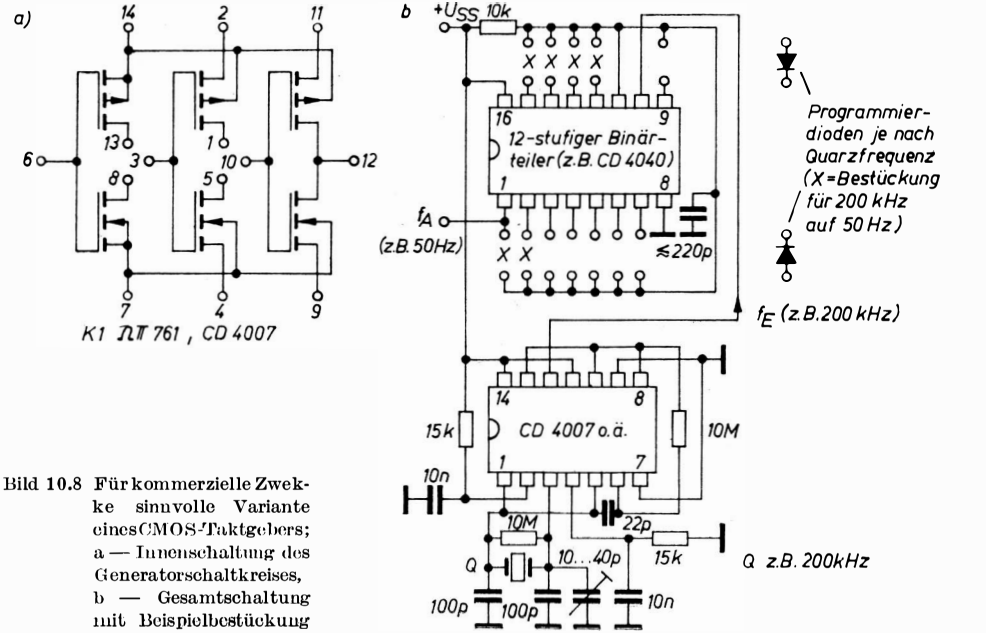


Bild 10.8 Für kommerzielle Zwecke sinnvolle Variante eines CMOS-Taktgebers; a — Innenschaltung des Generatorschaltkreises, b — Gesamtschaltung mit Beispielbestückung

11. *U 820 D* als Ereigniszähler

Aus der Kombination bereits vorgestellter Grundschaltungen ergibt sich mit wenig Zusatzaufwand ein vollständiger Ereigniszähler. Dabei braucht der Rechnerschaltkreis nicht die volle 8stellige Beschaltung, sondern oft nur eine 2- oder 3stellige Anzeige. Bei Netzbetrieb kann sich auch die Stromversorgung vereinfachen. Für den Steuertakt ist weiterhin ein Generator erforderlich.

11.1. Ereigniszähler vorwärts; Rundenzähler

Bild 11.1 zeigt den Stromlaufplan für einen kontaktbetätigten Ereigniszähler. Rückgestellt wird über die Taste C. Diese Rückstellung kann bei den im folgenden noch beschriebenen Rückwärtszählern zumindest bei Erreichen des Wertes 1 auch elektronisch relativ einfach vorgenommen werden. Die Schaltung nach Bild 11.1 wurde bewußt nur 2stellig ausgelegt, ein oft vorkommender Fall (Rundenzähler für Spielzeuge u. ä.), um die gegenüber voller Bestückung möglichen Einsparungen zu demonstrieren. Netzbetrieb vereinfacht die Gesamtschaltung zusätzlich.
Eine zweite Variante, die z. B. für Autorennbahn-Rundenzähler akzeptabel ist, besteht im Einsatz von 2 Mikrotastern mit Hebelbetätigung, deren Anordnung die zeitliche Folge der Eingaben sicherstellt (Bild 11.2). Sie werden gegebenenfalls mit einem 4fach-NAND entprellt, das in Form von 2 RS-Flip-Flop beschaltet wird (Bild 11.3).

11.2. Ereigniszähler rückwärts

Zur Eingabe einer Zahl, von der aus bei jedem eintreffenden Zählimpuls der Wert 1 abgezogen werden soll, ist zunächst eine Tastatur erforderlich. Die Digitbeschaltung für die Anzeige richtet sich wiederum nach der gewünschten Stellenzahl (also maximal 8 Stellen). Der übrige Ablauf, auch Schaltung und Funktion der

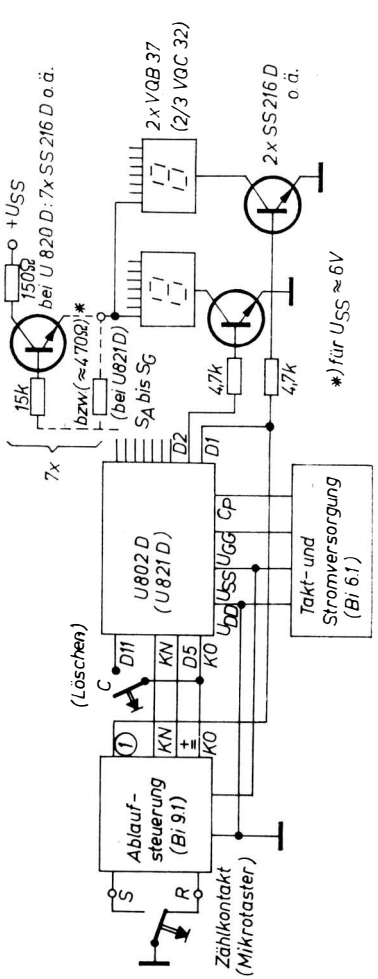


Bild 11.1 2stelliger kontaktbetätigter Ereigniszähler „Vorwärts" als Rundenzähler u. ä. Für solche Einsatzfälle (nur wenige Ziffern, langsame Zählfolge) ist der *U 821 D* dem *U 820 D* überlegen, da 7 Transistoren überflüssig werden

Steuerung, entspricht dem des Vorwärtszählers. Dieser Rückwärtszähler zählt zunächst ohne weitere Signalisierung über den Wert 0 hinaus und gibt dann entsprechend negative Zahlen aus.

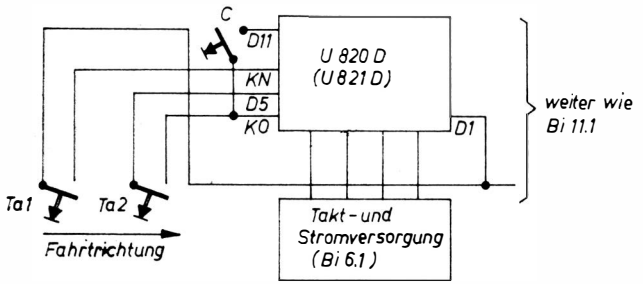


Bild 11.2 Vereinfachte Eingabe durch 2 mit Abstand montierte Mikrotaster, Mindest-Betätigungszeit von etwa 25 ms muß durch entsprechende Gestaltung der Berührungsfläche hinsichtlich der Durchlaufgeschwindigkeit gesichert werden (Mindestlänge)

Interessante Erweiterungen dieses Rückwärtszählers, der zusammen mit einem Taktgenerator zu einem periodischen Zähler wird, beschreibt Abschnitt 12.

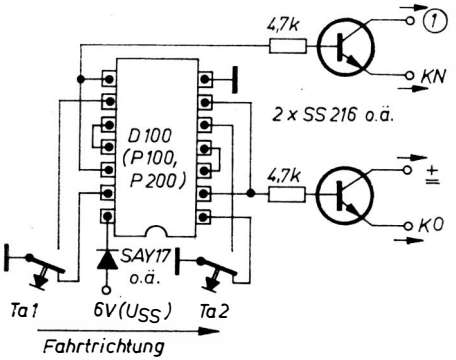


Bild 11.3 Entprellschaltung für die Eingabe

12. Periodische Zähler mit dem *U 820 D/ U 821 D*

Die im folgenden beschriebenen Anwendungen des *U 820 D/ U 821 D* sind von sehr unterschiedlicher Komplexität. Entsprechend niedrig oder hoch sind der erreichte Komfort und die Genauigkeit. Die einfacheren Beispiele enthalten jedoch auch Elemente, die in den komplexeren Einsatzfällen benutzt werden können (z. B. Nullauswertung oder Signalgabe).

12.1. Rückwärtszähler als einfacher Wecker — Auswertung des Nulldurchgangs

Dieses Beispiel verzichtet auf eine Umschlüsselung der Anzeige auf die uhrenübliche Darstellung. Man berechnet also am Abend die Zeitdifferenz bis zum Wecken mit dem Rechner so: Eingabe Stunden × 60 +, Eingabe Minuten + × 60 +. Dieses Ergebnis (in Sekunden) bleibt als Ausgangswert im Rechner. Danach wird nur noch der Weckertakt gestartet. Eine komfortable Uhr mit *U 820 D* wurde in radio-fernsehen-elektronik 27 (1978) H. 10 beschrieben [4].

Der Wecker besteht aus 1-s-Taktgeber, Ablaufsteuerung (mit den Eingaben 1 und „−"), „Zentraleinheit" *U 820 D* mit Strom- und Taktversorgung sowie Anzeige und den erforderlichen Bedientasten — mindestens Zifferntasten und Taste C, Auskopplung der Anzeige „−" und Signalgeber, wahlweise mit Schalterteil (Bild 12.1). Die Zeitdifferenz bis zur gewünschten Signalzeit wird in Sekunden ermittelt und in den Rechnerteil eingegeben. Ist eine komplette Tastatur angeschlossen, so kann man auch zunächst die Differenz in Sekunden ausrechnen. (Der Sekundentaktgenerator ist dabei noch abgeschaltet.) Das Ergebnis bleibt anschließend im Arbeitsspeicher, und mit dem Generator-Startschalter kann die Einrichtung gestartet werden. Der bis zum Wecken verbleibende „Sekundenfonds" ist jederzeit ablesbar. Als Taktgenerator kommt — je nach gewünschter Genauigkeit — entweder der Multivibrator nach Bild 10.1 oder z. B. der *D 921*-Teiler mit Uhrenquarz in Frage. Im konkreten Beispiel wurde der

Bild 12.1 Übersichtsschaltplan eines Weckers mit *U 820 D/U 821 D* („Rückwärtszähler mit Signalgabe ab Minuszeichen)

Multivibrator nach Bild 10.1 an die Ablaufsteuerung nach Bild 9.1 angeschlossen; ebenso ist die Variante nach Bild 9.2 geeignet (Generator auf 1 s umdimensioniert).

Sobald der Zähler mit den Schritten „1" und „—" schließlich am Anzeigezustand 0 angekommen ist, muß der Wecker ein

Alarmsignal auslösen. Leichter ist das um 1 s versetzt möglich, nämlich dann, wenn die erste „negative Sekunde" gezählt wird. Eine potentialfreie Ankopplung gewährleistet dabei ein Optokoppler (z. B. *MB 101*), dessen Eingang zwischen die Katode der 9. Stelle (also der Vorzeichenstelle) und Segment G (entspricht dort Minus) gelegt wird.

Ein Versuch zeigte, daß die Schwellspannung der LED des verwendeten Optokopplers unter der des Minuszeichens lag. Dadurch erschien dieses Zeichen zunächst selbst nicht mehr; das ab — 1 ständig (pulsierend) erscheinende Minuszeichen wurde nur noch sekundär vom Optokoppler her signalisiert. Da im allgemeinen weiterhin eine optische Direktkontrolle erwünscht ist, wurde die Spannungsdifferenz zunächst durch einen Widerstand vor dem Kopplereingang ausgeglichen, wodurch sich allerdings die Ausgangsleitfähigkeit des Koppeltransistors verringert. Das kann aber durch entsprechende Nachverstärkung wieder ausgeglichen werden.

Bild 12.2 gibt die komplette Signalausgabe über einen Kleinlautsprecher wieder. Sie setzt nach dem Nulldurchgang bei — 1 ein und gibt die vom Takt modulierte Multiplexfrequenz der Ziffernanzeige als gut hörbaren, periodisch unterbrochenen Ton ab. Für Signalaufgaben im Kurzzeitbetrieb oder zur Überwachung digitalisierter „Füllstände" u. ä. genügt diese einfache Schaltung völlig. Von Nachteil für längere Betriebszeiten sind die bei ihr auch im positiven Zahlenbereich nicht völlig zu unterdrückenden kurzen, ebenfalls noch mit der Multiplexfrequenz modulierten Impulse bei jedem Sekundentaktimpuls. Das dürfte zwar für Kurzzeituhren zur akustischen Funktionskontrolle sogar von Vorteil sein, über längere Zeiten hinweg wird es jedoch manchen stören. Bild 12.3 zeigt eine Alternative. Der in Reihe mit dem

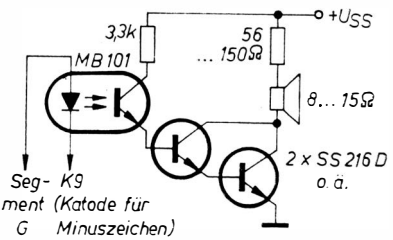


Bild 12.2
Einfache Signalschaltung für Zählbereichende für Rückwärtszähler (geeignet für Kurzzeitbetrieb)

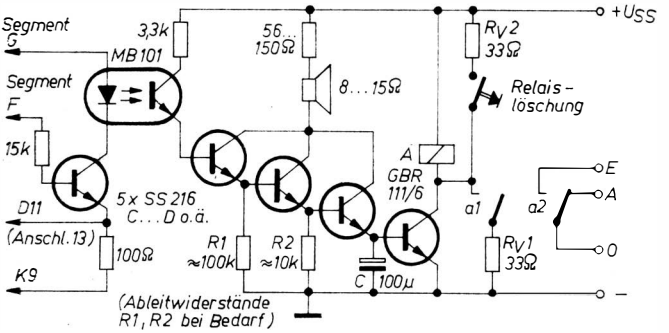


Bild 12.3 Für Langzeitsignalgeber (Wecker u. ä.) geeignete Signalschaltung

Optokopplereingang liegende Transistor wird vom Segment F der gleichen Katode gesteuert. Dadurch schaltet sich der Signalweg erst durch, wenn an dieser Katode die Minuszeichensteuerung beginnt. Was durch die hohe nötige Gesamtverstärkung infolge der Relaissteuerung bleibt, ist ein leises Knacken im Sekundenrhythmus, das dem Ticken einer Uhr ähnelt und darum sogar vielen Nutzern willkommen sein kann. Anderenfalls läßt es sich über einen Arbeitskontakt des Relais so lange unterdrücken, bis die Weckzeit erreicht ist.

Durch den Widerstand vor dem Segment G (Minuszeichen) ist in dieser Schaltung auch die optische Signalisierung des erreichten negativen Zahlenbereichs gegeben. Damit lassen sich bei Bedarf auch noch die seit Alarmbeginn verstrichenen Sekunden ablesen. Die äußerst geringe Übertragungsleistung, die vom Optokoppler her bei dieser Schaltungsart zur Verfügung steht, erfordert eine Kaskade von 3 Transistoren für ein genügend lautstarkes Tonsignal. Der vierte Transistor erhöht den verfügbaren Strom auf einen Wert, der zum Ansprechen eines 6-V-Kleinrelais ausreicht. Der Kondensator an der Basis integriert die eintreffenden Weckimpulse. Für dieses Relais wurde gleichzeitig eine Selbsthalteschaltung vorgesehen. Nach Löschen des Alarmsignals läßt es sich über die Taste Ta abschalten. Der Vorwiderstand R_{v1} reduziert den Relaisstrom auf den geringeren nötigen Wert des Haltestroms, und R_{v2} wirkt beim Löschen als Begrenzung, falls der

Transistor von *C* her noch geöffnet sein sollte. Mit einem zweiten Relaiskontakt könnte bereits bei Alarmgabe rückgestellt werden, wenn der Signalton stört. (Umschaltmöglichkeit vorsehen!)
Weiterhin läßt sich bei Einsatz als Wecker eine „Schlummertaste" vorsehen. Dazu könnte über Knopfdruck mit einer weiteren Ablaufsteuerung ähnlich der vorgestellten — nur mit mehreren Stufen wegen der mehrstelligen Zahl — z. B. ein Wert von 600 s beim 1-s-Steuertakt eingegeben werden. Dann zählt der Zähler wiederum bis Null rückwärts und gibt bei — 1 nach 10 min erneut ein Wecksignal. Einfachere Schaltungen dazu ermöglichen MOSFET-Zeitschalter.

12.2. Stoppuhr mit 0,1-s-Schritten

Der kombinierte Zeitnehmer und -geber mit einem 4-Spezies-Rechner nach Bild 12.4 ist für folgende Anwendungen geeignet:
- Stoppuhr 0,1 s bis 115 Tage; Anzeige in Sekunden, Umrechnung in Minuten, Stunden und Tage mit eingebautem Rechner von Hand.
- Zeitmesser (Kontaktschließzeiten, Einschaltdauer von Geräten) 0,1 s bis 2777 h; Anzeige wie oben.
- Belichtungsuhr 0,1 s bis 2777 h; Eingabe in Sekunden, Umrechnung von Minuten und Stunden in Sekunden mit eingebautem Rechner von Hand.
- Wecker; Weckzeiten 0,1 s bis 115 Tage, Eingabe wie oben.
- Ereigniszähler vorwärts und rückwärts, maximal 10 Ereignisse/s.
- 4-Spezies-Rechner.

Es handelt sich also um eine relativ anspruchsvolle Schaltung, was Verständnis und Bedienung anbelangt, will man diese vielen Möglichkeiten voll nutzen.
Die einzelnen Betriebsarten werden durch Schalter eingeschaltet; die Run-Stop-Funktion (also Lauf oder Start und Halt) wird durch zusätzliche Tasten (Ta1, Ta2) auf der Tastatur ausgelöst. die Stopp-Taste (Ta2) schaltet dabei automatisch die normale Rechnerfunktion ein, während die Run- (Start-) Taste Ta1 die Ablaufsteuerung entsprechend den Schalterstellungen S1 bis S3 einleitet. Dazu muß natürlich der Batterieschalter S4 eingeschaltet sein. Bei geschlossenem Schalter S1 wird die Kontaktschließ-

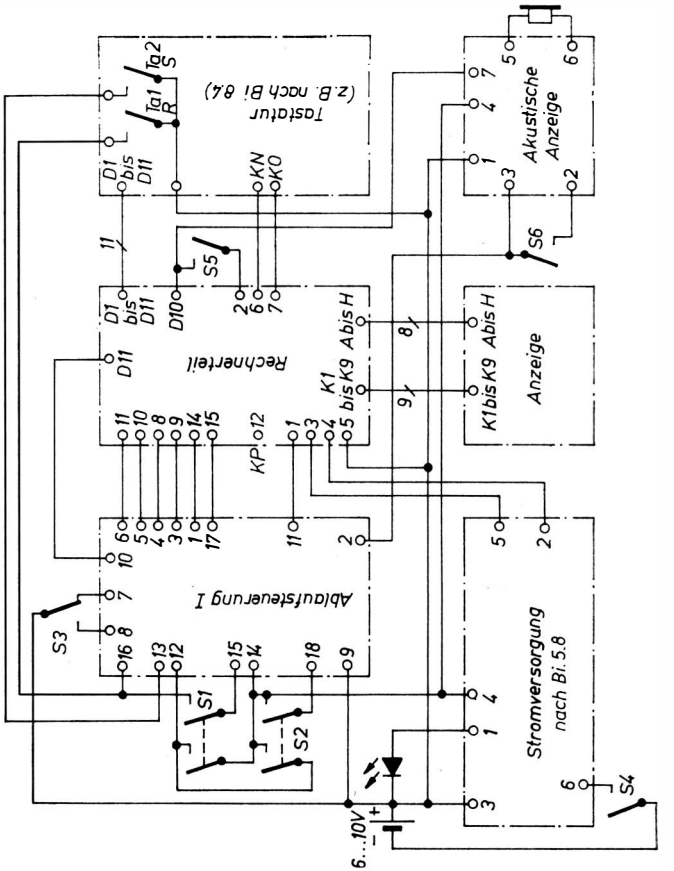


Bild 12.4 Übersichtsschaltplan einer elektronischen Stoppuhr

zeit der Taste Ta1 oder eines parallel anzuschließenden beliebigen Kontakts gemessen. Stellt man zwischenzeitlich den Rechner mit der Taste C nicht auf Null, können weitere Kontaktzeiten addiert und auch subtrahiert werden, je nach Stellung des Schalters S3, der die Zählrichtung steuert.

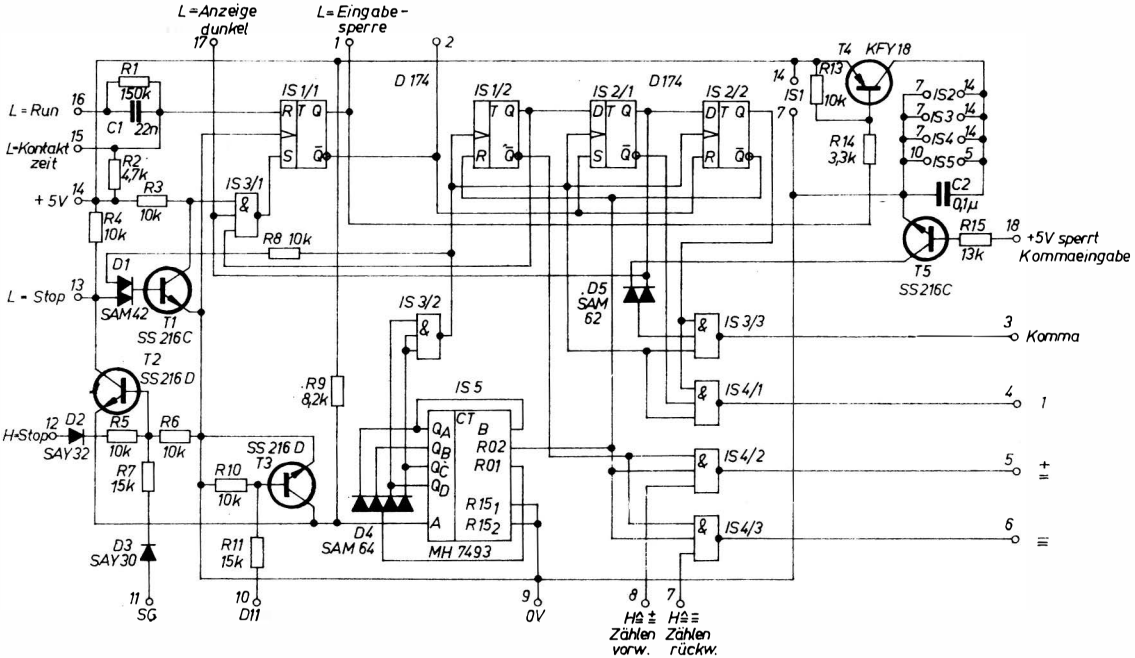


Bild 12.5 „Ablaufsteuerung I" (zeitgenaue Ablaufsteuerung); S1: Kontaktzeit, S2: Einzelzählung, S3: Zählrichtung (gezeichnet: vorwärts), S4: Batterie ein, S5: Konstantenrechnung, S6: Akustische Anzeige aus

Mit dem Schalter S2 läßt sich die Kommaeingabe innerhalb der Ablaufsteuerung sperren (Zählung von 1) und die Stopp-Funktion einschalten, so daß jeder Druck auf Ta1 nur einen Ablaufzyklus umfaßt (Einzelzählung). Auch dabei kann mit S3 zwischen Vorwärts- und Rückwärtszählen gewählt werden.
Sind S1 und S2 ausgeschaltet, arbeitet die Ablaufsteuerung als Stoppuhr bei Zählrichtung vorwärts und als Zeitgeber bei Zählrichtung rückwärts. Bild 12.5 zeigt den Stromlaufplan der Ablaufsteuerung.
Ein Druck auf die Taste Ta1 (Run an Stelle von Start zum besseren Unterschied zu Stopp) stellt das RS-Flip-Flop IS 1/1, dessen Q-Ausgang die Betriebsspannung über T4 auch an die Schaltkreise IS 2 bis IS 5 legt und so den ersten Zyklus einleitet. Gesteuert wird der Ablauf jetzt vom D11-Takt über den Entkoppeltransistor T3, der den umschaltbaren Teiler IS 5 ansteuert. Er liefert das Kontaktzeit-Pausenverhältnis von 12 : 3 bzw. 12 : 4 D-Takten für die Eingabeimpulse (vergleiche Abschnitt 8.3.) mit Hilfe von IS 3/2. Vom $\overline{Q}$-Ausgang von IS 2/2 wird dazu über den R_{01}-Eingang des IS 5 auf 4 D-Takte Pause vor den Eingaben „1" und „+" bzw. „−" umgeschaltet.
Von IS 3/2 wird der 5stufige Teiler mit IS 1/2 und IS 2 gleichzeitig an den Takt-Eingängen angesteuert. Diese Schaltung liefert an allen Q-Ausgängen des Teilers gleichartige Impulse, die jeweils um einen Ansteuertakt verschoben sind. Dadurch ist die einfache Umformung zu den geforderten Eingabeimpulsen mit IS 3/3 und IS 4 möglich. Die Impulse für die Kommaeingabe können über D5 und T5 gesperrt werden (Zählung ganzer Zahlen), während die Operation „+" an einem Eingang des IS 4/2 gesperrt wird (Zählrichtung rückwärts).
Durch die logische Verknüpfung mit IS 3/1 kann am Ende jedes Zyklus der Ablauf über den Eingang S von IS 1/1 gestoppt werden, vorausgesetzt, daß zu dieser Zeit die Taste S gedrückt ist oder daß gleichzeitig H-Pegel an SG und D11 (Negativ-Anzeige) vorhanden ist, was über T2 einer Stopp-Eingabe entspricht. Bleibt die Taste S ständig gedrückt, führt jede Betätigung der Taste R nur zu einem einzigen Zählzyklus (Einzelzählung). Die beschriebene Ablaufsteuerung (Impulsdiagramm siehe Bild 12.7) arbeitet zusammen mit dem zugehörigen Rechnerteil nach Bild 12.6. Es enthält die Digittreiber mit T1 bis T9 und entsprechende Segmentvorwiderstände. Reicht der Segmentstrom

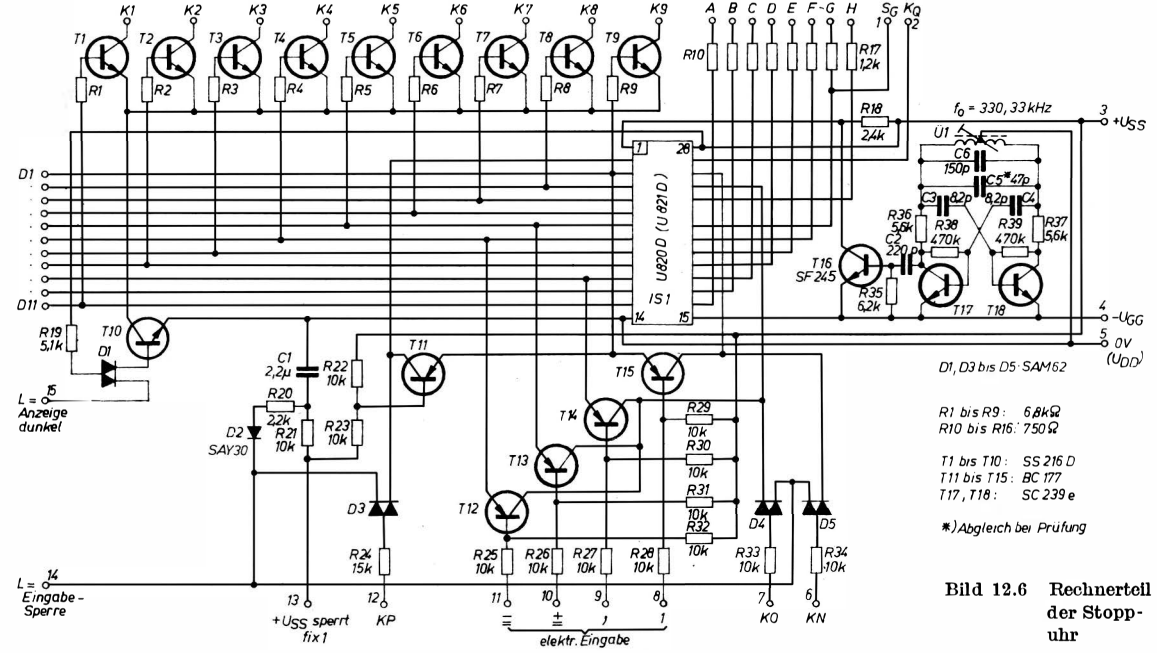


Bild 12.6 Rechnerteil der Stoppuhr

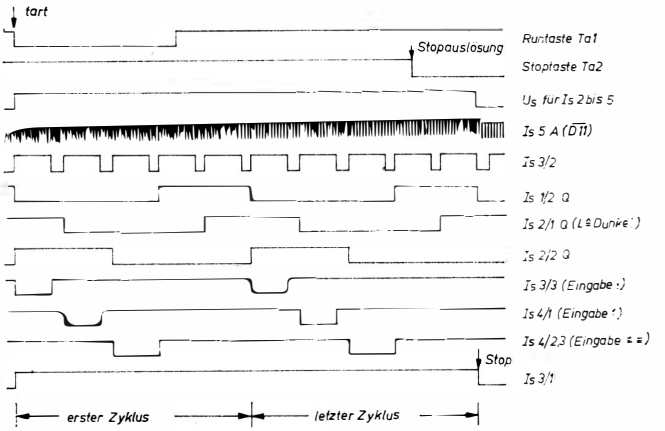


Bild 12.7 **Impulsdiagramm für Ablaufsteuerung. Im Bild sind spannungslose Zustände (fehlende Speisespannung am Schaltkreis) als H-Pegel dargestellt**

für die vorhandene Anzeige nicht aus, muß die Anzeigeeinheit noch durch Segmenttreiber ergänzt werden.

Der Taktgeber mit T16 bis T18 wurde bereits weiter vorn beschrieben. Er wird auf die Frequenz von 330,33 kHz eingestellt. Für die elektronische Eingabe von der Ablaufsteuerung her sind die Transistoren T12 bis T15 vorgesehen. Während des Ablaufs wird jede Eingabe vom Tastenfeld über die Dioden D4 und D5 gesperrt. D3 sperrt eine etwa vorhandene Festkommaeinstellung. Während des Ablaufs sorgt T11 für die Einstellung auf fix 1 (Festkomma 1 Stelle von rechts). Sie kann aber auch mit $+ U_{SS}$ an Punkt 13 gesperrt werden. Mit dem Transistor T10 lassen sich alle Digittreiber zur Dunkelsteuerung der Anzeige von der O-V-Leitung abtrennen, solange an Punkt 15 ein L-Pegel anliegt.

Die Tastatur wurde bereits in Abschnitt 4. beschrieben. Sie wird an die entsprechend bezeichneten Punkte angeschlossen. Zusätzlich wurden lediglich 2 getrennte Tasten (Ta1 und Ta2) vorgesehen. Sie sind in Bild 12.4 gesondert gezeichnet, aber in der Tastatur nach Abschnitt 4. bereits enthalten. Die verschiedenen Einsatzfälle erfordern unterschiedliche Auswerteschaltungen, von denen der Wecker wohl am wichtigsten ist und Bestandteil des

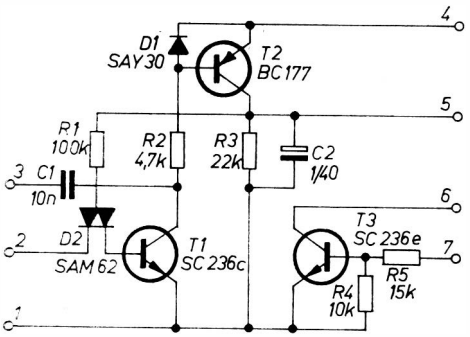


Bild 12.8 Akustische Signalausgabe mit Löschmöglichkeit

Geräts werden sollte. Adapter für die Anpassung der TTL-Ausgänge z. B. an ein Vergrößerungsgerät werden zweckmäßig diesem zugeordnet. Das sollte man schon aus Sicherheitsgründen tun, um nicht die Netzspannung im Zeitgeber zu schalten, sofern nicht eine reine Belichtungsuhr projektiert wird.

Bild 12.8 zeigt eine bedienungsfreundliche akustische Anzeige. Sie enthält ein diskret aufgebauten RS-Flip-Flop mit T1 und T2, das über *C*1 vom Stoppsignal aus der Ablaufsteuerung (IS 1/1, $\overline{Q}$) gesetzt wird. Es schaltet den Verstärker T3 über den Schallwandler an die Batteriespannung. T3 verstärkt die *D 10*-Impulse vom Rechnerschaltkreis. Die kurzen Impulse führen dabei zu einem geringen mittleren Strombedarf. Als akustischer Wandler ist eine 54-Ω-Hörkapsel vorgesehen, wie sie z. B. im Telefon verwendet wird.

Das gleiche Stoppsignal setzt über S6 das RS-Flip-Flop zurück, wenn die akustische Anzeige wieder ausgeschaltet werden soll. Damit ist sichergestellt, daß nicht schon während des Ablaufs unbeabsichtigt rückgesetzt wird. Der Schalter S6 könnte prinzipiell auch als Taste ausgelegt werden, sie müßte jedoch rastend sein, um die unerwünschte Alarmgabe auszuschalten.

12.3. Prinziplösung einer Uhr für Stunden und Minuten

In [4] wird die Kombination eines Rechners mit einer Uhr beschrieben, die beide den Rechnerschaltkreis, die Anzeige und die

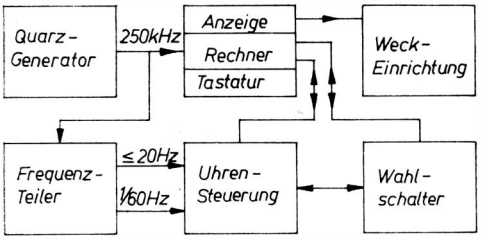


Bild 12.9 Übersichtsschaltplan einer Kombination von Rechner und Digitaluhr nach Literaturangaben

Tastatur (z. B. zum Stellen der Uhr) gemeinsam haben. Bild 12.9 zeigt den Übersichtsschaltplan dazu. Man erkennt daraus Funktionsumfang und Aufwand. Im Gegensatz zu den in dieser Broschüre benutzten TTL-Schaltkreisen setzte der Autor von [4] durchweg MOS-Schaltkreise ein. Der genannte Beitrag enthält die Leiterbilder einer 2seitig kaschierten Leiterplatte (Format 100 mm × 112,5 mm) für Rechner- und Uhrenteil, dagegen sind Quarzgenerator, Frequenzteiler, Weckeinrichtung und Stromversorgung für den Nachbau nicht näher dargestellt. Durch den Einsatz der relativ großen 7-Segment-Anzeigen vom Typ *VQB 71* ergibt sich eine für Uhrenbetrieb genügend große Ableseentfernung. Der Beitrag enthält einige interessante Einzelheiten, z. B. bezüglich der Zwischenspeicherung der Multiplexsignale für den Weckbetrieb. Der Nachbau kann wegen der nur teilweise bis zur Leiterplatte wiedergegebenen Informationen jedoch nur fortgeschrittenen Amateuren empfohlen werden, die sich dann in der genannten Literaturstelle näher informieren sollten.

Da für beliebige andere Einsatzfälle interessant, sei in Bild 12.10b lediglich noch der 7-Segment- zu 1-aus-10-Dekoder der Weckeinrichtung für eine 4-Ziffern-Anzeige wiedergegeben, der aber nur für die Zifferndarstellung des *U 820 D* gilt. Beim Einsatz eines *U 821 D* müssen für die betreffenden Ziffern die „Minimalbeschreibungen" nach Bild 12.10a geändert werden (z. B. bei 7, wo dann kein F ausgegeben wird!).

Die jeweils leuchtende Ziffer bewirkt, daß die ihr zugeordnete Leitung (0 bis 9) für die Leuchtzeit hochohmig ist.

Über zwei 2-Ebenen-Wahlschalter läßt sich in 5-Minuten-Sprüngen die Alarmzeit vorwählen. Das Problem der Auswertung im

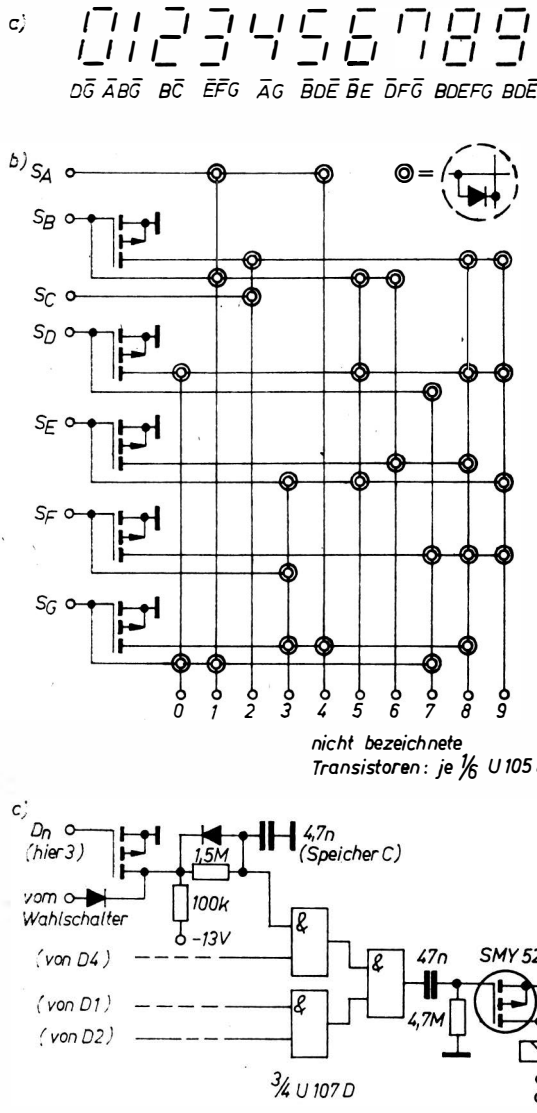


Bild 12.10 a — Minimalbeschreibung der *U 820 D*-Ziffern, b — Dekoder für 1 aus 10, c — Ladungsspeichernde Alarmauswertung für 4 Digits

Multiplex betriebener, also nicht während der gesamten dem Auge als hell erscheinenden Darstellungszeit tatsächlich vom Schaltkreis gespeister Ziffern, löste der Autor elegant durch eine Ladungsspeicherung. Das läßt sich allerdings eben nur mit (spannungsgesteuerter) MOS-Technik vernünftig realisieren. Die für die Digitausgänge D1 bis D4 je einmal dazu nötige Schaltung wurde in Bild 12.10 zusammen mit der bei Erreichen der Weckzeit alarmauslösenden Gatterverknüpfung nur einmal wiedergegeben.

13. Digitalthermometer

13.1. Digitaler Spannungsmesser

Die bekannten Temperaturfühler lassen sich so einsetzen, daß der Temperatur proportionale Spannungen ausgegeben werden. Um diese analog vorliegenden Signale digital anzuzeigen, ist ein entsprechender Wandler erforderlich. Auf diesen konzentriert sich zunächst die Realisierung eines Digitalthermometers mit dem Rechnerschaltkreis *U 820 D/U 821 D*.
Leider liegt die Verarbeitungsgeschwindigkeit des Rechners relativ niedrig. Es gilt also ein Verfahren zu finden, das trotz dieser Gegebenheiten noch eine brauchbare Anzeige liefert. Günstig erscheint dabei der Einsatz eines Kompensationsverfahrens, das jeweils nur die Änderungen auswertet und die Anzeige entsprechend korrigiert. Für ein digitales Thermometer ist ein solches Verfahren auch mit relativ langsamer Korrektur durchaus vollwertig einsetzbar, da sich Temperaturen im allgemeinen nicht allzu schnell ändern.
Bild 13.1 zeigt das Prinzip des Kompensationsverfahrens. Die Eingangsspannung U_e gelangt zum Komparator, der einen Vor-Rückwärts-Zähler mit Anzeige steuert. Dessen digitale Ausgangssignale wandelt der angeschlossene D/A-Wandler in analoge Signale um, die dann im Komparator mit dem Eingangssignal verglichen werden. Der Zählerstand ist damit proportional der ange-

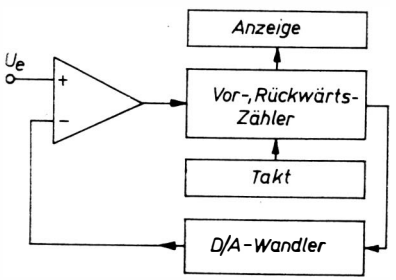


Bild 13.1
Kompensationsverfahren mit D/A-Wandler (Prinzip)

legten Eingangsspannung. Die Anzeigegeschwindigkeit hängt vom Takt und von der Eingangsspannungsänderung ab.

Die prinzipielle Erweiterung des Rechnerschaltkreises zu einem Vor-Rückwärts-Zähler wurde bereits in Abschnitt 9.2. beschrieben. Leider hat der Rechner keine digitalen Ausgänge. Die für den D/A-Wandler erforderlichen digitalen Eingangssignale liegen hier nur seriell und im 7-Segment-Code an den Ausgängen für die Anzeigeschaltung vor. Die Decodierung erfordert erheblichen Aufwand. Es muß dekadenweise decodiert werden, so daß weitere Schwierigkeiten beim Anschluß eines D/A-Wandlers entstehen, der üblicherweise ein binäres Eingangssignal benötigt. Selbst solche Wandler sind derzeit aber im Handel kaum erhältlich, und der Eigenbau des geforderten speziellen Wandlers ist sehr aufwendig. Aus den genannten Gründen wurde eine Schaltung entwickelt, die sich leicht an die Ablaufsteuerung zum Rechner anschließen läßt und bei wenig Aufwand dennoch recht brauchbare Ergebnisse liefert. Bild 13.2 zeigt das Prinzip dieser einfachen Schaltung. Der D/A-Wandler wird durch eine Impulszählschaltung gebildet, die sich aus der vorzeichenbehafteten Impulsaufbereitung (Vor-Rückwärts-Zählung) und dem Integrator zusammensetzt. Diese Schaltung zählt die Operationsbefehle „+" und „—" für den Rechner und setzt sie direkt in das für den Komparator benötigte analoge Signal in Form einer Treppenspannung um. Die einzelnen Treppenstufen entsprechen bei richtiger Dimensionierung der geforderten Auflösung der zu messenden Eingangsspannung.

Kernstück dieser Anordnung ist der Integrator. Sein Langzeitverhalten bestimmt die Stabilität der Anzeige innerhalb der Meßzeit, das entspricht etwa der Nullpunktstabilität eines aktiven

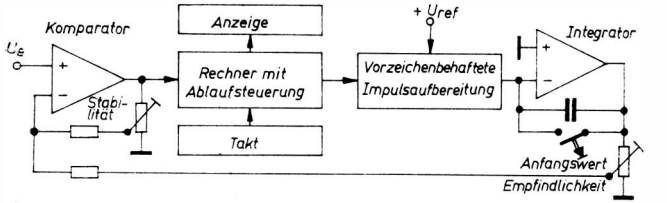


Bild 13.2 Prinzip eines Digitalvoltmeters mit Impulszählschaltung als D/A-Wandler

analogen Spannungsmessers. Selbstverständlich ist vor jeder Messung auch eine Nullpunktkorrektur über die Taste „Anfangswert", gekoppelt mit der Taste C des Rechners, möglich. Der Meßwert erscheint dann aber erst nach Ablauf der Einstellzeit in der Anzeige, wobei die Einstellzeit vom Anzeigewert abhängt. Geringe Drift des Integrators setzt einen Operationsverstärker mit MOSFET-Eingang oder einen vorgeschalteten Doppel-MOSFET sowie hohe Isolationswiderstände aller Bauelemente an dessen Eingang voraus. Außerdem muß der Eingang gegen andere spannungsführende Punkte auf der Leiterplatte ausgezeichnet isoliert sein. Zweckmäßig wird der invertierende Eingang daher hoch gelegt, d. h., dieser Punkt und alle angeschlossenen Bauelemente berühren die Leiterplatte nicht!

Die Anzeigegenauigkeit hängt außerdem von der Referenzspannung und von der Impulsaufbereitung ab. Diese muß dem Integrator stets gleiche und konstante Ladungsmengen zuführen, gleichgültig, ob vorwärts oder rückwärts gezählt wird, sonst ergeben sich polaritätsabhängige Fehler und Abweichungen bei Änderungen des Meßwerts. Der Komparator vergleicht die Ausgangsspannung des Integrators mit der Eingangsspannung und steuert die Ablaufsteuerung so, daß eine positive Eingangsspannung die Vorwärtszählung und damit einen Anstieg der Ausgangsspannung am Integrator bewirkt. Bei Spannungsgleichheit ist die Ausgangsspannung des Komparators etwa 0 V, die Zählung wird unterbrochen, und ein weiterer Anstieg der Spannung am Integrator unterbleibt.

Eine einstellbare Gegenkopplung („Stabilität") bewirkt, daß nicht bereits sehr kleine Spannungsunterschiede zum ständigen Vor- und Rückwärtszählen führen. Mit dieser Gegenkopplung kann der Komparator auch so eingestellt werden, daß er erst bei relativ großen Unterschieden eine Zählung bewirkt (Unterdrückung überlagerter Wechselspannungsanteile). Die Anzeige ist dann allerdings entsprechend fehlerbehaftet.

Auf Grund dieser Zählweise ist es nun leicht möglich, die negative Zählrichtung zu unterbrechen, wenn eine Maximalwertanzeige gewünscht wird. Ebenso läßt sich eine Minimalwertanzeige durch Unterbrechung der positiven Zählrichtung erreichen. Außerdem können Spannungen, die nacheinander an den Eingang gelegt werden, mit der Schaltung vorzeichenrichtig addiert werden. Man läßt dazu den Anzeigewert stehen, indem man den Zählvorgang

am Eingang der Ablaufsteuerung stoppt, und drückt die Taste „Anfangswert", ohne gleichzeitig den Rechner zu löschen. Der nachfolgende Meßwert wird jetzt einfach dazugezählt.

13.2. Temperatur-Spannungsumsetzung

Die einfachste linear arbeitende Temperaturmeßeinrichtung besteht aus einem Transistor, dessen Kollektor mit dem Gehäuse verbunden und damit auch thermisch mit ihm gut gekoppelt ist, und einer Stromquelle in Form eines Vorwiderstands von der Referenzspannung her. Bild 13.3 zeigt diese Anordnung. Sie wird ergänzt durch den Schalter S1 und durch den Spannungsteiler *R*2, *R*3, der mit *R*3 auf die Ausgangsspannung des Fühlers bei 0 °C einzustellen ist. Damit steht für Eichzwecke stets dieser Wert zur Verfügung. Er wird mit S1 eingeschaltet, und wenn sich nach Ablauf der Einstellzeit der stationäre Endwert eingestellt hat, löscht man mit der Taste C am Rechner die Anzeige. Die Taste „Anfangswert" aus Bild 13.2 kann in diesem Falle eingespart werden. Von größter Bedeutung ist dabei die Stabilität der Referenzspannung für den 0 °C-Eichwert. Man beachte, daß bereits 2 mV Änderung am Schleifer von *R*3 eine Fehleichung von 1 K bewirken. Für Fälle, bei denen die Stabilität der Referenzspannung nicht ausreicht, zeigt Bild 13.4 eine Schaltung zur Nachstabilisierung. Diese Schaltung ist außerdem temperaturstabil (mit *R*4 einstellbar) durch Ausgleich der beiden gegeneinandergeschalteten Temperaturkoeffizienten der beiden Halbleiter (*VQA 13* mit etwa — 1,8 mV/K und *SAY 17* mit etwa — 2,2 mV/K).
Die Anzeige der Temperatur beruht auf der Differenz des Spannungswertes der Basis-Kollektor-Strecke des Fühlers bei 0 °C

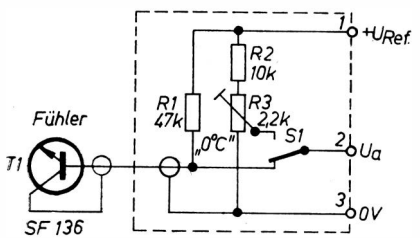


Bild 13.3
Einfache Nullpunkteinstellung

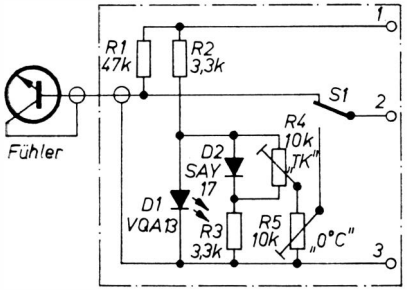


Bild 13.4
Stabilisierte Nullpunkteinstellung

(Eichpunkt) und der von der Temperatur der Meßstelle bedingten Fühlerspannung. Der angeschlossene digitale Spannungsmesser muß entsprechend der Spannungsdifferenz am Fühler von etwa — 2 mV/K und der geforderten Auflösung dimensioniert werden. Außerdem ist es erforderlich, den negativen Temperaturbeiwert bei der Anzeige zu korrigieren. Durch Vertauschen der Eingaben „+" mit „—" am Rechner werden die Temperaturen vorzeichenrichtig angezeigt.
Für andere Temperaturfühler, z. B. Kupfer-Konstantanverbindungen, sind zusätzlich Operationsverstärker zu empfehlen, um die Anzeigeempfindlichkeit des digitalen Spannungsmessers nicht zu hoch treiben zu müssen.

13.3. Digitalthermometer mit Transistorfühler

Im folgenden werden die einzelnen Baugruppen eines Digitalthermometers näher beschrieben.
Der Transistorfühler mit dem Adapter wurde bereits in Abschnitt 13.2. ausreichend behandelt. Er steuert die Impulszählschaltung über den Komparator mit IS 1 an (Bild 13.5a). An Stelle des eingesetzten *MH 741* (TESLA) ist auch der *A 109* oder der *B 109* geeignet. Die Ausgangsspannung des Komparators löst über die anschließend beschriebene Ablaufsteuerung die Vor- bzw. Rückwärtszählung aus. Die eigentliche Impulszählung wird durch Ladungstransport von den Kondensatoren *C*2, *C*3 über die Dioden D3 bis D6 in den Kondensator *C*4 des Integrators IS 2 erreicht. *C*2 z. B. lädt sich bei anliegendem Rechenbefehl „+"

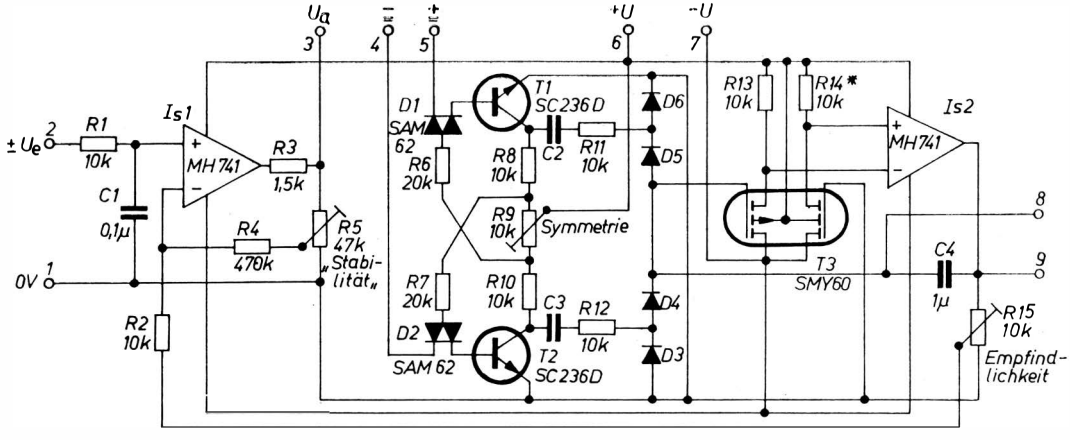


Bild 13.5 a: Impulszählschaltung

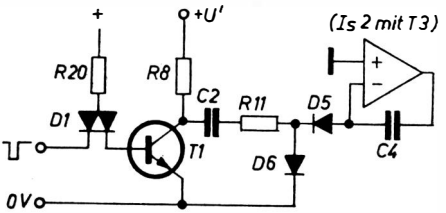


Bild 13.5 b: Prinzip der Impulszählschaltung

über den Transistor T1 um, wobei die Spannung am Kollektorwiderstand die Ladungsmenge mitbestimmt. $R11$ begrenzt dabei den Spitzenstrom und verhindert so die Übersteuerung des Integrators. Bild 13.5b zeigt diesen Vorgang im einzelnen. Im Ruhezustand ist T1 leitend, der Kondensator $C2$ liegt über U_{CEsat} an Masse (0 V). Der negative Impuls jedes anliegenden Rechenbefehls „+" sperrt T1, und $C2$ lädt sich über $R8$, $R11$ und D6 auf. Bedingt durch den kleinen Kapazitätswert von $C2$ und die lange Ladezeit erreicht die Spannung am Kondensator nahezu die Betriebsspannung U' (Ladung wird bis in den hochohmigen Bereich von D6 fortgesetzt, die Flußspannung ist dann entsprechend klein). Nach Impulsende wird T1 wieder leitend, und $C2$ entlädt sich über T1, $R11$, D5 und $C4$, wobei ebenfalls eine nahezu vollständige Entladung erreicht wird. Jeder Impuls erhöht die Spannung an $C4$ und die Ausgangsspannung des Integrators um den Betrag U_{S}. Es gelten folgende Beziehungen:

$$U_{\mathrm{SV}} = \frac{C2}{C4 + C2}\left(\hat{U}_{\mathrm{R8}} - U_{\mathrm{D6}} - U_{\mathrm{D5}}\right) \quad \text{für Zählen vorwärts}$$

$$U_{\mathrm{SR}} = \frac{C3}{C4 + C3}\left(\hat{U}_{\mathrm{R10}} - U_{\mathrm{D3}} - U_{\mathrm{D4}}\right) \text{für Zählen rückwärts}$$

$(\hat{U} = U_{\mathrm{SS}})$

Für die genaue Anzeige müssen beide Werte genau gleich sein, deshalb ist der Abgleich der Symmetrie mit $R9$ vorgesehen. Er gestattet es, mit Hilfe der beiden Basiswiderstände $R6$, $R7$ die Spannung an $R8$ und $R10$ gegensinnig zu ändern. Trotzdem sollten die beiden Kondensatoren $C2$, $C3$ auf einen ΔC von höchstens 2% bis 5% von C ausgemessen werden. Außerdem erkennt man, daß

die Anzeigegenauigkeit von der Spannung an $R8$ und $R10$ und somit von der Referenzspannung abhängt.
Der Einfluß der Dioden D3 und D6 und deren Temperaturabhängigkeit tritt wegen der hochohmigen Belastung durch den Integrator nur wenig in Erscheinung.
Zweckmäßig verwendet man die Referenzspannung auch als positive Betriebsspannung für die Operationsverstärker. Eine Spannung von 15 V wäre vorteilhaft, erfordert jedoch einen getrennten Transverter. Deshalb wurde im Versuchsmuster auf die für den Rechner erzeugte Spannung von etwa $\pm$ 6 V zurückgegriffen. Das schränkt den nutzbaren Ausgangsspannungshub am Integrator auf $\pm$ 3 V ein, hat jedoch für die Nutzung als Thermometeranzeige keine große Bedeutung. Die Empfindlichkeit darf beim Abgleich mit $R15$ nicht so weit gesteigert werden (Schleiferbewegung gegen Masse), daß die maximale Eingangsspannung (tiefste Temperatur) die oben gesetzte Grenze überschreitet.
C2, C3 bestimmt man günstig für Mittelstellung von $R15$. Da die Eingangsspannung mit $U_e \approx 2$ mV/K gegeben ist, muß die Ausgangsspannungsänderung am Integrator bei einer Auflösung von 1 K $U_S \approx 4$ mV und z. B. bei 0,2 K $U_S \approx 0{,}8$ mV betragen. Die Kondensatoren $C2$, $C3$ ergeben sich näherungsweise zu:

$$C_{2,3} \approx \frac{U_s \cdot C4}{\widehat{U}_{R8,10}}$$

In der Musterschaltung wurden $C4 = 0{,}47$ bis 1 μF und $C_{2,3} = 330$ pF eingesetzt. Auflösungen unter 1 K erfordern Zwangssteuerung des Kommas (vergleiche Abschnitt 9.2.) und eine andere Zifferneingabe, z. B. eine 2 für Schritte von 0,2 K.
Die Ablaufsteuerung für das Thermometer ist in Bild 13.6 dargestellt. Der Steuertakt D11 vom *U 820 D*/*U 821 D* wird über T1 entkoppelt und dem Vorteiler IS 1 zugeführt. Er liefert das Kontaktschließzeit-Pausenverhältnis von 12 : 4 D-Takten für die Operationseingabe, solange R_{02} auf *low*-Pegel liegt. Anderenfalls wird über D1 das Verhältnis auf 12 : 1 D-Takte eingestellt, um die Ablaufzeit zu verkürzen. Die Anzahl der D-Takte für einen kompletten Zyklus beträgt dann $16 + 3 \cdot 13 = 55$ D-Takte $\triangleq$ 70 ms für die höchste garantierte Taktfrequenz beim *U 820 D*. Nachgeschaltet ist der 4-Teiler IS 2 mit einem *D 174*. Er steuert die Logik mit IS 3/1 für die Eingabe „+“ und mit IS 3/2 für „−“

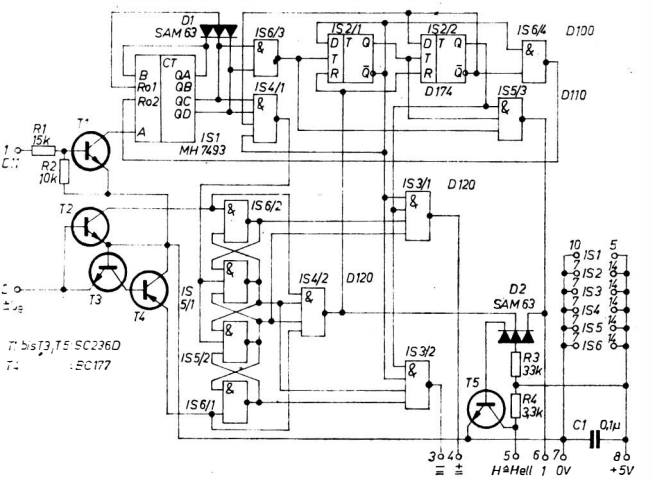


Bild 13.6 „Ablaufsteuerung II" (zeitschnelle Ablaufsteuerung)

sowie mit IS 5/3 für die Eingabe 1 (je nach Auflösung auch 2 oder 5). Die Schaltkreise IS 5/1,2 und IS 6/1,2 sind als RS-Flip-Flop mit gegenseitiger Verriegelung geschaltet. Über T2 wird der Ablaufzyklus mit der Operation „+" und über T3, T4 der mit „−" gesetzt. Am Ende jedes Zyklus von IS 1 und IS 2/2 wird durch IS 4/1 rückgesetzt.

Der Transistor T5 steuert über D2 die Helltastung der Anzeige während der Zifferneingabe, weil zu dieser Zeit die Berechnung abgeschlossen, aber die Ziffer noch nicht angenommen ist. Außerdem steuert er die Anzeige „Hell" während der Pausen zwischen den Eingabezyklen.

Bild 13.7 zeigt den Gruppenverbindungsplan für das Digitalthermometer. Der vollständige Ablauf ist im Impulsdiagramm (Bild 13.8) dargestellt. Auf der Grundlage der oben gezeichneten willkürlichen Eingangsspannung für die Ablaufsteuerung sind die zum Verständnis wesentlichen Impulse und deren zeitliche Zuordnung dargestellt. Sobald die positive Eingangsspannung die Basis-Emitter-Spannung von T4 erreicht hat (positiver Schwellwert), leitet diese und setzt das RS-Flip-Flop (IS 6/2, IS 5/1). Der Ablauf „Eingabe 1 +" beginnt. Vor Ende des Ablaufs ist die

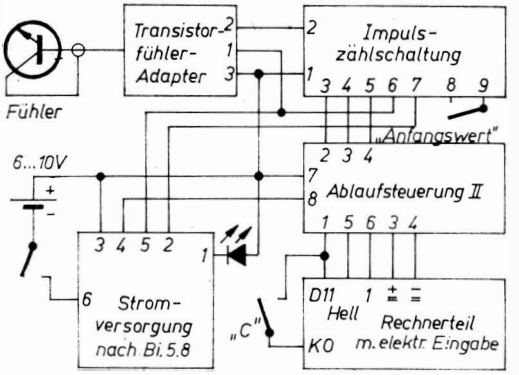


Bild 13.7 Übersichtsschaltplan des beschriebenen Digitalthermometers

Eingangsspannung bereits bis zum negativen Schwellwert abgesunken. T3 und T4 leiten und schalten bereits IS 6/1 am Ausgang auf H-Pegel um und bereiten die nachfolgende „Eingabe 1 —" vor. Das RS-Flip-Flop IS 5/2, IS 6/1 wird dabei noch nicht gesetzt, da ein Eingang des IS 5/2 noch durch den L-Pegel von IS 5/1

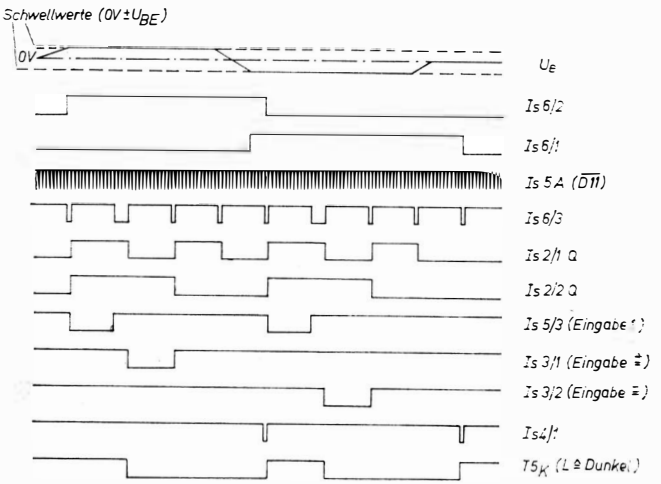


Bild 13.8 Impulsdiagramm für Ablaufsteuerung

blockiert ist. Die Freigabe erfolgt erst am Ende des Ablaufs, wenn über IS 4/1 das RS-Flip-Flop IS 6/2, IS 5/1 zurückgesetzt wird. Jetzt beginnt der Ablauf „Eingabe 1 —" mit dem Setzen von IS 5/2 und IS 6/1. Zum Schluß sei noch auf die Dunkeltastspannung am Kollektor des T5 hingewiesen. Der angeschlossene Rechner enthält bis auf Taste C keine Tasteneingabe und braucht in der Anzeige nur für 3 Digit und für das Vorzeichen ausgelegt zu werden.

14. Literatur

[1] *N. Wengel*: Aufbau, Wirkungsweise und Einsatzerweiterung von Taschenrechnerschaltkreisen; „radio-fernsehen-elektronik" 27 (1978), H. 5, S. 318—323

[2] *M. Pjnür*: Elektronischer Rechner zum Selbstbau; Teil 1. „Funkschau" 44 (1972), H. 16, S. 593—595

[3] *K. Schlenzig*: Ein Taschenrechner mit dem U 820 D; „FUNKAMATEUR" 27 (1978), H. 8, S. 384—386 und S. 397; H. 9, S. 438—444

[4] *F. Bilz*: Digitaluhr und Rechner mit *U 820 D*; „radio-fernsehen-elektronik" 27 (1978), H. 10, S. 662—666

[5] *M. Meder* und *M. Conrad*: Informationswandlung mit Rechnerschaltkreis *U 820 D*; „radio-fernsehen-elektronik" 24 (1975), H. 23, S. 779—781

[6] —: Halbleiter-Anfallbauelemente — Daten und Anwendungsbeispiele. Firmenschrift VEB *Funkwerk* Erfurt

[7] —: Datenblatt des *U 821 D* mit Korrekturinformation von November 78

[8] *K. Schlenzig*: Experimente mit *U 820 D*; „radio-fernsehen-elektronik" 27 (1978), H. 9, S. 591—594

[9] *H. Schumny*: Taschenrechner-Handbuch, B. G. Teubner, Leipzig 1978

[10] *J. Delfs*: Taschenrechnerschaltkreis *U 821 D* in industriellem Einsatz; „radio-fernsehen-elektronik" 27 (1978), H. 3, S. 155